



Examensarbete

# Integrering av pelletsfabrik med Rya kraftvärmeverk i Göteborg

En teknisk och ekonomisk utredning

*Integration of pellet production with Rya combined  
heat and power generation plant in Göteborg  
A technical and economical study*

Charlotta Abrahamsson



## **Abstract**

**INTEGRERING AV PELLETSFABRIK MED RYA KRAFTVÄRMEVERK I GÖTEBORG.**

-En teknisk och ekonomisk utredning

## **INTEGRATION OF PELLET PRODUCTION WITH RYA COMBINED HEAT AND POWER GENERATION PLANT IN GÖTEBORG**

-A technical and economical study

---

*Charlotta Abrahamsson*

Göteborg Energi has a surplus of district heating during spring, summer and fall. The heat surplus is due to a constant production of waste heat from oil refineries and heat from waste incineration over the year. It would be desirable to increase the demand for heat and the uptime for the newly built combined heat and power generation plant, Rya Kraftvärmeverk. One alternative could be to integrate Rya Kraftvärmeverk with a pellet production facility. By producing heat, electricity and pellet in a joint process the energy use can be decreased. The production can also be more cost efficient due to a lower investment cost when using the same boiler etc, for different purposes.

The purpose of the thesis is to investigate the technical and economical possibilities for an integration of pellet production with Rya Kraftvärmeverk. In order to find a suitable system for the integration, different methods for drying biomass and existing pellet production plants have been studied. Eight different alternatives (two production capacities, two pressures of drying steam and two drying systems) have been evaluated based on electricity production, heat production, pellet production, profitability, environmental impact, transports and area needed for the pellet production plant. Finally, a recommendation has been given to Göteborg Energi whether they should continue to investigate an integration of Rya Kraftvärmeverk and pellet production and if so, what further studies are needed.

Handledare: David Knutsson

Ämnesgranskare: Per-Anders Hansson

Examinator: Bengt Hillring



## Sammanfattning

Göteborg Energi har ett fjärrvärmesystem med en bred värmeproduktion där spillvärme från oljeraffinaderier och avfallsförbränning ligger som baslast. I produktionen finns även Rya Kraftvärmeverk som använder naturgas som bränsle och anläggningar som använder biobränsle. Sommartid och även vår och höst är det, p.g.a. spillvärmens jämna produktion över året, ett värmeöverskott.

Ett sätt att öka värmelasten är att bygga ett energikombinat. I ett energikombinat integreras flera produktionsprocesser för att få samordningsvinster som exempelvis att en panna utnyttjas för att producera ånga till elproduktion och värmegenerering samtidigt som den genererar torkenergi. Befintlig infrastruktur kan användas och energin nyttjas på ett energieffektivt sätt.

Det övergripande målet med examensarbetet är att utreda den tekniska och ekonomiska genomförbarheten för ett energikombinat bestående av Rya Kraftvärmeverk, Rya KVV, och en pelletsfabrik. Studien ska ge en indikation på lönsamheten för projektet, samt en rekommendation till huruvida Göteborg Energi bör utreda frågan vidare eller ej. Miljöpåverkan från en framtida pelletsfabrik ska även diskuteras.

Råvaran i pelletstillverkningen, i det här fallet rundved, finfördelas i en trumhugg, torkas, pressas till pellet, kyla och slutligen packas och/eller levereras till kund. Den process i pelletstillverkning där integrering med kraftvärmeverket sker är torkning av biobränsle. Efter en studie av olika torktekniker har ett torksystem med två torkar valts; en bäddtork som förtork och en trycksatt ångtork för sluttorkning. Ånga från kraftvärmeverket förser ångtorken med torkenergi. Förtorken använder spillvärmens från ångtorken som torkmedium. I studien undersöks åtta olika alternativ, två produktionsvolymers pellets, två torksystem och två ångtryck på ånga till ångtorken. I det ena torksystemet driver spillenergi från ångtorken en kondensator för att generera el.

Torksystemet utan kondensator visade sig vara det mest lönsamma för det aktuella kombinatet. Detta alternativ är, med 7 % ränta, lönsamt redan efter sex år och klarar därmed kravet att nå lönsamhet efter tio år. Pelletsproduktionen är för detta alternativ, drygt 80 000 ton/år. Förutom pelletsproduktion så ökar elproduktionen totalt i Göteborg Energis fjärrvärmesystem, samtidigt fås även en något ökad utnyttjningstid på Rya KVV och något ökade emissioner. Ökad produktion i spetslastanläggningar under kalla dagar för att klara värmebehovet ger ökade kostnader samt ökade emissioner. Den tänkta tomten bedöms vara tillräckligt stor för ett energikombinat.

I känslighetsanalyser visas att energikombinatet är känsligt för variationer i pelletspriset. Variationer i råvarupriset inverkar också på energikombinatets lönsamhet, energikombinatet är däremot inte lika känsligt för variationer i investeringskostnad eller el och naturgaspriser.

Examensarbetet visar på goda tekniska möjligheter för att integrera Rya KVV med en pelletsfabrik samtidigt som lönsamhetskalkylen är positiv. Rekommendationen är därför att Göteborg Energi fortsätter att utreda ett energikombinat. Vidare studier behöver dock göras, avseende exempelvis pelletspris, rening av kondensat och pelletsfabrikens storlek. En större pelletsfabrik skulle få en större inverkan på Rya KVV:s drifttid och elproduktion. En integrering med ett eventuellt biokraftvärmeverk skulle ge större tekniska och ekonomiska fördelar.

## Förord

Examensarbetet har utförts på Göteborg Energi och är den avslutande delen inom mina studier på civilingenjörsprogrammet i Energisystem på Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet.

Jag vill rikta ett varmt tack till min handledare David Knutsson för handledning och diskussioner som har hjälpt mig att komma framåt i mitt arbete. Tack till alla på EF på Göteborg Energi för allt ifrån studiebesök och hjälp med frågor och diskussioner till trevliga luncher och fikastunder, och inte minst för att ni fick mig att känna mig varmt välkommen!

Ett stort tack även till alla som under arbetets gång har läst och gett feedback på min rapport, speciellt min ämnesgranskare Per-Anders Hansson och min opponent Sofia Ekstrand.

Jag vill också tacka alla andra som har svarat på frågor. Framförallt Claes Münter och Prem Verma på Exergy Consulting samt Michael Mazur på Simens för all tid ni har tagit er för att hjälpa mig med mina frågor om torkar och turbiner.

Slutligen tack alla nära och kära för diskussioner om upplägg och infallsvinklar, hjälp med korrekturläsning, stöd och uppmuntran.

Charlotta Abrahamsson,  
Stockholm, maj 2008

## Innehållsförteckning

Abstract .....	1
INTEGRATION OF PELLET PRODUCTION WITH RYA COMBINED HEAT AND POWER GENERATION PLAN IN GÖTEBORG.....	1
Sammanfattning .....	2
Förord .....	3
Innehållsförteckning .....	4
1 Inledning.....	6
1.1 Bakgrund .....	6
1.2 Syfte med mål .....	7
1.3 Avgränsningar .....	8
2 Metod .....	9
2.1 Litteraturstudier .....	9
2.2 Intervjuer och studiebesök .....	9
2.3 Utvärderingsalternativ och beräkningar .....	9
2.4 Simuleringar .....	10
3 Teoribakgrund .....	10
3.1 Processteg pelletstillverkning .....	12
3.1.1 Flisning och utsortering av föroreningar .....	12
3.1.2 Torkning .....	12
3.1.3 Malning och konditionering .....	16
3.1.4 Pelletering och efterbehandling.....	16
3.2 Miljöpåverkan från pelletsfabrik .....	17
4 Befintliga pelletsfabriker och energikombinat .....	18
5 Rya Kraftvärmeverk integrerad med pelletsfabrik .....	20
5.1 Anläggningsbeskrivning, Rya Kraftvärmeverk .....	20
5.2 Anläggningsbeskrivning, Pelletsfabrik .....	20
5.2.1 Råvara och förbehandling .....	20
5.2.2 Tork .....	21
5.2.3 Malning, pelletering och kylning .....	24
5.3 Ångproduktion och bränsleåtgång .....	24
5.4 Elproduktion .....	26
5.5 Bränslepriser .....	26
6 Resultat .....	27
6.1 Påverkan på befintliga spetslastanläggningar .....	28
6.2 Pelletsproduktion .....	28
6.3 Elproduktion .....	29
6.3.1 Elproduktion i nya turbiner .....	30
6.3.2 Förändring i elproduktionen i befintliga anläggningar .....	30
6.4 Ekonomiska resultat .....	31
6.4.1 Investeringskostnad .....	31
6.4.2 Rörliga kostnader .....	32
6.4.3 Intäkter .....	32
6.4.4 Lönsamhetskalkyl .....	32
6.5 Alternativa tekniska lösningar .....	35
6.5.1 Avtappning från Ryas Ångturbin .....	35
6.5.2 Överkapacitet på Rya KVV .....	36

6.5.3	Återföring till matarvattentank.....	37
6.5.4	Integrering av ett biokraftvärmeverk med en pelletsfabrik.....	37
6.6	Emissioner till luft .....	39
6.7	Emissioner till vatten.....	39
6.8	Buller .....	40
6.9	Transporter av råvaror och färdig pellets .....	40
6.10	Uppskattning av ytbehov .....	41
7	Slutsatser .....	41
8	Diskussion .....	42
9	Referenser.....	45
Appendix .....		47
Appendix 1, Standard för pellets [6] .....		47
Appendix 2, Sammanställning av teknik och råvara för ett urval av befintliga pelletsfabriker .....		48
Appendix 3, Ångkraftsprocessen .....		49
Appendix 4 .....		51
Appendix 5 .....		51

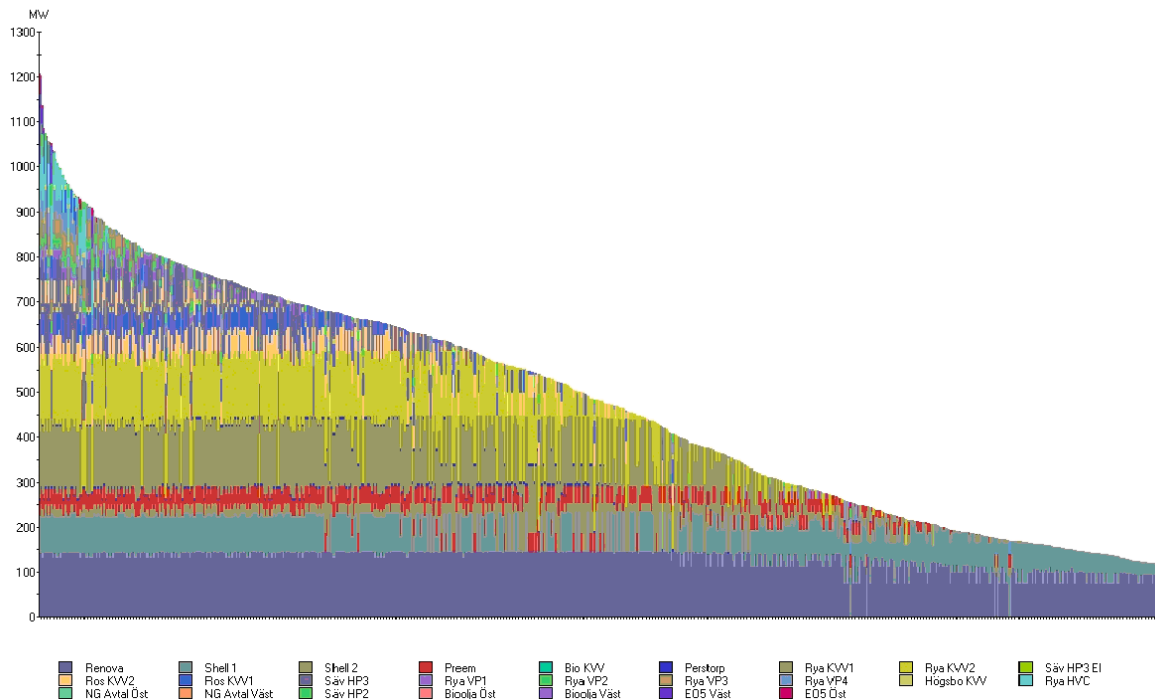


# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Göteborg Energi AB är Västsveriges ledande energibolag [1]. Företaget ägs av Göteborg Stad och har ca 1000 anställda. Koncernen är verksam inom flera områden, exempelvis fjärrvärme, elproduktion, elnät, vindkraft, stadsgas, biogas och fordonsgas. År 2006 levererade Göteborg Energi, 3 644 GWh fjärrvärme [2] till 6 016 företag och 7 448 privatkunder. Sett till leveranser är Göteborg Energi Sveriges fjärde största leverantör av fjärrvärme [3]. Göteborg Energis fjärrvärmeproduktion sker med ett flexibelt produktionssystem där ett flertal bränslen och produktionsanläggningar ingår, exempelvis Rya, Högsbo och Rosenlunds Kraftvärmeverk som alla eldas med naturgas, biobränsleeldade fastbränslepannor, värmepumpar med avloppsvatten som värmekälla, spillvärme, biooljepannor och oljepannor. Förutom fjärrvärme från Göteborg Energis egna produktionsanläggningar levereras fjärrvärme från renhållningsföretaget Renovas avfallsförbränning, samt spillvärme från Shell och Preems oljeraffinaderier till Göteborg Energis fjärrvärmenät. I Figur 1 nedan illustreras mångfalden i produktionssystemet med ett varaktighetsdiagram beräknat för 2007. Den stora tillgången på produktionsanläggningar skapar möjligheter för flexibilitet i produktionen. Vilken anläggning som körs beror på aktuella bränsle- och produktionskostnader vilket ger goda förutsättningar för ett väl optimerat fjärrvärmesystem med produktion i de anläggningar som har lägst kostnad vid varje tidpunkt.

I varaktighetsdiagrammet, Figur 1, har avfallsförbränning hos Renovas kraftvärmeanläggning följt av Shell och Preem lägst produktionskostnader och därmed också längst drifttider. Spillvärmeförseln från dessa anläggningar är i princip konstant över året och medför att Göteborg Energi sommartid har ett värmeöverskott. En ökad värmelast, främst vår, sommar och höst, skulle medföra ett bättre utnyttjande av värmen samt en längre utnyttjningstid för kraftvärmeverk. På grund av dagens höga elpriser finns det goda incitament för att öka utnyttjningstiden för kraftvärmeproduktion. Ett sätt att öka värmelasten vår, sommar och höst skulle vara om ånga från kraftvärmeverkets ångturbin kan användas för torkning av pellets.



**Figur 1 Varaktighetsdiagram för Göteborg Energi, 2007, från simulering av klimatmässigt normalår**

I ett energikombinat integreras flera produktionsprocesser för att få samordningsvinster. Det kan vara spillvärme eller ånga från en massafabrik eller från ett kraftvärmeverk som används som torkmedium vid tillverkning av etanol, biogas eller pellets. Vinsterna med ett energikombinat är många, både miljömässiga och ekonomiska. Genom att använda ånga och värme för förädling av biobränsle ökar även värmelasten och därmed drifttiden för kraftvärmeverket vilket ger en ökad elproduktion. Exergin kan tas till vara på ett bättre sätt genom att ånga med högt energiinnehåll först producerar el i en turbin och sedan går till exempelvis en tork i biobränsletillverkningen. Detta ger en högre totalverkningsgrad och ett lägre bränslebehov än vid separat el, värme och pelletsproduktion. Ett lägre bränslebehov innebär både en ekonomisk och miljömässig vinst. Infrastruktur kan nyttjas till flera användningsområden och transporter kan samordnas och bli effektivare. Miljövinster uppnås exempelvis genom mindre emissioner från transporter och genom ett bättre nyttjande av energi vilket minskar användningen av jordens resurser.

## 1.2 Syfte med mål

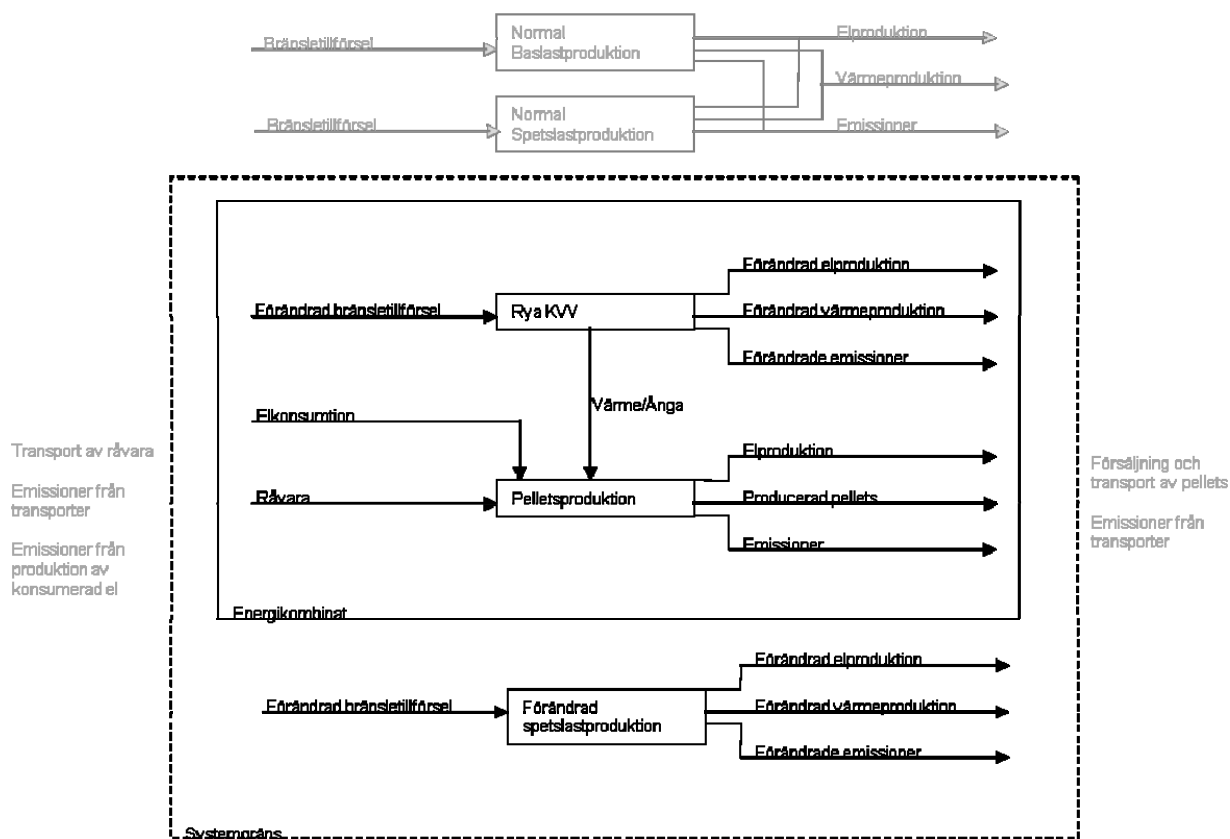
Det övergripande målet med examensarbetet är att utreda den tekniska och ekonomiska genomförbarheten för ett energikombinat bestående av Rya Kraftvärmeverk, Rya KVV, och en pelletsfabrik. Arbetets fokus ska ligga på processerna vid pelletstillverkning där integration med Rya KVV sker, påverkan på Rya KVV samt påverkan på övriga produktionsanläggningar till följd av energikombinatet. Examensarbetet ska ge en indikation på lönsamheten för projektet, samt en rekommendation till huruvida Göteborg Energi bör utreda frågan vidare eller ej. Examensarbetet ska även diskutera miljöpåverkan från en framtida pelletsfabrik. Då den tillgängliga tomtarean är begränsad är även pelletsfabrikens storlek relevant för projektets genomförbarhet, varför en översiktlig storleksuppskattning av pelletsfabriken ingår i examensarbetet. De frågeställningar som examensarbetet ska besvara är:

- Är det möjligt att använda fjärrvärme/ånga för torkning vid pelletstillverkning?
- Hur skulle den ökade värmelasten påverka kraftvärmeproduktionen?
- Hur skulle den ökade värmelasten vintertid påverka fjärrvärmesystemets befintliga produktionsanläggningar? Måste dyra spetsanläggningar köras under längre perioder och vad blir i så fall de ekonomiska och miljömässiga följderna av detta?
- Blir det någon spillvärme från pelletsproduktion och hur kan denna användas?
- Hur ser lönsamhetskalkylen ut för energikombinatet?
- Hur stor yta kommer den framtida pelletsfabriken kräva? Får den plats på den tänkta tomten?
- Vilken miljöpåverkan i form av buller och utsläpp till luft och vatten ger ett energikombinat?

### 1.3 Avgränsningar

Examensarbetets systemgränser innefattar energikombinatet, det vill säga pelletsfabriken och dess inverkan på Rya KVV, se Figur 2. Dessutom är energikombinatets inverkan på spetslastanläggningar i Göteborg Energis fjärrvärmenät inkluderad i systemgränsen. Transport av råvara till pelletsfabriken och pellets från fabriken är inte inkluderat. Inte heller varifrån råvaran köps och vart den färdiga pelletsen säljs omfattas av systemgränsen. Råvarupris och pelletspris är inkluderade för energikombinatets lönsamhetskalkyl. Miljöpåverkan från pelletsfabriken är begränsade till typ av miljöpåverkan samt diskussion. Förändrade emissioner från befintliga produktionsanläggningar till följd av energikombinatet ingår i systemgränsen. Emissioner från elanvändning och transporter till och från energikombinatet beaktas inte i examensarbetet.

I tillverkningsprocessen av pellets behandlas de delprocesser som ingår i integreringen mellan Rya KVV och pelletsfabriken med extra tonvikt. För att avgränsa examensarbetet väljs ett system för integrering, med två delalternativ. Dessa alternativ studeras och utvärderas.



Figur 2 Examensarbetets avgränsning och systemgränser

## 2 Metod

### 2.1 Litteraturstudier

För att inhämta information om pelletstillverkning, olika torktekniker samt befintliga energikombinat har litteraturstudier genomförts. För att få kunskap om möjliga integrationsmöjligheter med Rya KVV, har kraftvärmeverket besökts samt anläggningsinformation från tillverkare studerats.

### 2.2 Intervjuer och studiebesök

Korta telefonintervjuer har genomförts med 14 pelletsproducenter för att få kunskap om använd teknik och råvara. De intervjuade producenterna är ett urval av Sveriges största pelletsproducenter, samtliga med en årsproduktion på minst 40 000 ton pellets per år. Dessutom har fyra energikombinat studerats, varav ett har besökts och telefonintervjuer har genomförts med representanter för ytterligare befintliga energikombinat. Energikombinaten har studerats för att få kunskap om vilka integreringsprocesser som används.

### 2.3 Utvärderingsalternativ och beräkningar

Åtta olika fall har studerats och analyserats. De olika alternativen utgörs av två produktionsvolymmer av pellets, två ångtryck samt två alternativa torksystem, se Tabell 1. De olika fallen har utvärderats efter i första hand pelletsproduktion, elproduktion och lönsamhet. Beräkningar av dessa parametrar har genomförts i Microsoft Excel och redovisas under

respektive avsnitt. Studier har även gjorts på inverkan på spetslastanläggningar, samt översiktligt av energikombinatets miljöpåverkan.

**Tabell 1 Utvärderade alternativ**

Alternativ	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Ångtryck [bar]	20	20	20	20	15	15	15	15
Produktion [ton/h]	18	18	9	9	18	18	9	9
Torksystem	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork

## 2.4 Simuleringar

Simuleringsprogrammet Martes [4] har använts för att ta fram produktionsdata för Rya KVV och för att simulera energikombinatets påverkan på spetslastanläggningar. Martes är ett simuleringsprogram för fjärrvärmeproduktion där data för anläggningar, ekonomiska förutsättningar och emissioner läggs in för att så noggrant som möjligt beskriva ett fjärrvärmesystem. Anläggningarnas bränsle, värmefaktor, elkvot för kraftvärmeanläggningar och tillgänglighet är några av de viktigaste parametrarna. Ekonomiska förutsättningar som anges är rörliga kostnader för anläggningar, bränslepriser, koldioxidskatt, energiskatter, pris på elcertifikat och elleffektsavgift. Programmet är utvecklat av Profu och används av Göteborg Energi för att bland annat simulera effekten av förändringar i styrmedel, förändringar i val av och pris på bränslen, nya anläggningar, samt för prognoser för bränsleåtgång och emissioner.

När pelletsfabriken är i drift under årets kallaste dagar, kan inte full värmemängd från Rya KVV levereras till fjärrvärmenätet. För att kompensera detta och upprätthålla fjärrvärmeleveransen, så kommer dyrare spetslastanläggningar att köras. För att simulera hur mycket dessa anläggningar kommer att köras samt vilka effekter det har på ekonomi, elproduktion, bränsleanvändning och emissioner har simuleringar gjorts i Martes enligt följande princip. De perioder (antingen dag, 06-22, eller natt, 22-06) där värmeeffekten från Rya KVV reduceras, identifieras från lastkurva för Rya KVV för ett klimatomfattigt normalår. För identifierade perioder reduceras effekten med den minskning i värmeeffekt den avtappade ångan motsvarar, varefter en simulering görs. För att få påverkan på grund av energikombinatet jämförs simuleringsresultatet med ett referensfall utan effektreducering.

Vid produktion av 9 ton pellets per timma tappas mindre ånga av än vid 18 ton pellets per timma. Med det mindre ångflödet behöver effekten reduceras ett mindre antal perioder. Skillnaden är dock så liten, 32 timmar, att detta har bortsetts ifrån och för alla alternativ har effekten reducerats samma perioder, men olika mycket beroende på flöde av avtappad ånga.

## 3 Teoribakgrund

Bränslepellets är sammanpressat biobränsle i cylinderform med storleken 6-12 mm i diameter och en längd på max 4 gånger diametern [5]. Bränslepellets är ett relativt nytt bränsle. 1990 tillverkades ca 10 000 ton pellets i Sverige [6], sedan dess har produktionskapaciteten ökat många gånger om. 2008 beräknas produktionskapaciteten vara ca 2 000 000 ton pellets/år [5]. Initialt användes pellets till förbränning i konverterade kolpannor i värmeverk [6]. Idag används pellets även till uppvärmning av villor. På villamarknaden har användandet av pellets

ökat kraftigt de senaste åren. 2003 användes 250 000 ton pellets för uppvärmning av småhus[7], år 2006 var siffran 394 000 ton [8]. Med andra ord en ökning med 144 000 ton pellets på tre år, bara för uppvärmning av småhus. Energimyndigheten [9] rapporterar att pelletsförsäljningen i Sverige ökade med nästan 50 % under 2006. Det är inte bara efterfrågan på pellets som ökar. Enligt Bioenergitidningen planeras, eller har nyligen uppförts, 12 nya fabriker med en sammanlagd produktionskapacitet på 900 000 ton pellets per år. Inklusiva dessa anläggningar finns det 82 pelletsfabriker i Sverige med en sammanlagd produktionskapacitet på drygt 2 000 000 ton. [5]

Förädling av träråvara till pellets är en energikrävande process. Trots detta kan många fördelar fås genom pelletering, exempelvis [10]:

- transporter och hantering underlättas då fukthalten är lägre och bulkdensiteten är högre
- risk för nedbrytning och därmed en sänkning av värmevärdet minskar eftersom fukthalten i bränslet har sänkts
- pellets kan malas och eldas i pannor konstruerade för kolpulvereldning
- genom pelletering fås ett homogent bränsle vilket underlättar styrning och optimering av förbränningsprocessen

I Tabell 2 nedan anges bränsleegenskaper för pellets samt några andra förädlade och oförädlade trädbränslen. Ur tabellen kan det utläsas att pellets har den högsta skrym/bulkdensiteten, vilket är en av pelletsens största fördelar. Värmevärdet för pellets ligger mellan 19-21 MJ/kg TS eller 5,3–5,8 kWh/kg torrsubstans, TS.

**Tabell 2 Bränsleegenskaper för pellets samt några andra trädbränslen [11]**

Bränsle	Fukt vikt-% TS	Aska vikt-% TS	Svavel vikt-% TS	Klor vikt-% TS	Hcal [MJ/kg] (torrt, askfritt)	Bulkdensitet kg TS/m <sup>3</sup>
Trä (spån, flis, pulver)	8-60	0,4-0,6	0-0,3	0-0,05	16-18	200-350
<b>Trä (pellets, briketter)</b>	<b>9-10</b>	<b>0,4-0,8</b>	<b>0-0,3</b>	<b>0-0,05</b>	<b>19-21</b>	<b>550-700</b>
Grot (grenar och toppar)	35-55	1-5	0,02-0,05	0,02-0,05	19-21	200-350
Returträ	3-50	3-16	0,04-0,3	0,04-0,2	20-24	200-350
Salix	25-50	1-5	0,005-0,03	0,01-0,1	18-20	200-350
Bark	21-65	2-6	0-0,1	0-0,02	20-25	300-550
Lövträd	20-40	0,3-1,7	0,01-0,04	0,005-0,06	19-21	440-580

Göteborg Energi eldar idag en del pellets i anläggningen Rya Hetvattencentral, Rya HVC. I och med en pelletsfabrik skulle Göteborg Energi bli självförsörjande på pellets och även kunna sälja pellets till externa kunder. Efterfrågan på pellets bedöms öka i framtiden både i Sverige, Europa och i USA [12]. Om England, Tyskland, Holland och Belgien ersätter 8 % av sin förbränning av fossila bränslen för uppvärmning med pellets skulle behovet av pellets öka med 10-11 miljoner ton per år [12].

Svensk Standard<sup>1</sup> har tagit fram standard för bränslepellets med indelning i tre olika kvaliteter, Appendix 1. I standarden ska pelletsen uppfylla krav för dimensioner, hållfasthet, värmevärde, fukthalt, askhalt, svavelhalt och kloridhalt. Standarden säkerställer att kunder får ett bränsle av en jämn och hög kvalitet.

<sup>1</sup> Det finns även en internationell standard för fasta biobränslen: Solid biofuels – Terminology, definitions and descriptions. Brussels: European Committee for Standardisation. Technical specification. 2003. CEN/TS 14588:2003 E. Då den svenska standarden används i branschen har denna använts i studien.

För förbränning i små anläggningar krävs en högre kvalitet både vad det gäller hållfasthet men framförallt när det gäller låg askhalt. Små pelletskaminer har oftast ingen automatisk askhantering varför ett högt askinnehåll kräver mera underhåll. [6] För stora anläggningar i värmeverk är inte askhalten ett lika stort problem. En högre askhalt fås då råvara med mycket bark pelleteras. Pelletering av alternativa energigrödor som rörflen ger också ett högt askinnehåll. Pellets med dålig hållfasthet sönderdelas lätt och kan skapa problem vid matning av pellets. Om pelletsen sönderdelas så ökar även risken för spill [9]. Ojämn matning till pannan ger en ojämn förbränning vilket medför en sänkt verkningsgrad, ökade utsläpp av stoft, samt en ökad andel oförbränt i pannan. Låg hållfasthet med sönderdelning av pellets kan även medföra ökade problem med damm. [6]

### **3.1 Processteg pelletstillverkning**

Förädling av trädbränsle till bränslepellets sker i sex större processteg; flisning och utsortering av föroreningar, torkning, malning, ev. ångkonditionering (uppmjukning av råvaran), pelletering och efterbehandling (kylning). I avsnitt 3.1.1-3.1.4 nedan följer en översiktlig beskrivning över de olika delprocesserna.

#### **3.1.1 Flisning och utsortering av föroreningar**

Behov av förbehandling är beroende av råvaran. Pelleteras spån, behövs ingen förbehandling. Pelleteras däremot GROT eller rundved behöver först föroreningar i form av metaller, sten, grus etc. skiljas från biobränslet genom exempelvis ett såll. Får man in föroreningar i processen medför detta slitage på utrustningen vilket leder till ökade underhållskostnader. Flisning kan exempelvis ske med en flishugg/trumhugg eller hammarkvarn. En trumhugg kan flisa grovt material. En hammarkvarn klarar inte lika grova dimensioner som en trumhugg, men är å andra sidan mindre känsligt för föroreningar bättre. [10]

#### **3.1.2 Torkning**

Vid pelletering av sågspån och andra fuktiga råvaror krävs torkning. Råvarans fukthalt varierar med val av råvara. Sågspån och flis från stamved har en fukthalt på ca 50 % [11]. Enligt standard ska pellets ha en fukthalt under 10 %, för Grupp 1 och Grupp 2, och under 12 % för Grupp 3, se Appendix 1, Standard för pellets. Torkenergin kan tillföras med hetvatten, ånga eller rökgaser. Förutom energi till torkning krävs el för att driva fläktar, transportörer och annan kringutrustning. Vid pelletering av kutterspån, som är en torr restprodukt från hyvling i sågindustrin, behövs ingen torkning.

Torkning kan ske med indirekt eller direkt teknik. Vid indirekt torkning kommer torkgodset aldrig i kontakt med torkmediet till skillnad från direkt torkning där torkgodset och torkmediet är i direkt kontakt. Torkgodsets uppehållstid i torren varierar från ett tiotal sekunder till flera timmar, beroende på val av torkteknik men även beroende på storlek på råvaran och råvarans fukthalt.

Vid torkning med rökgaser används rökgaser från en befintlig panna i ett fjärrvärmesystem eller på en industri. Rökgaser till torren kan även genereras av en fristående panna. Rökghostorkning kan exempelvis ske i rotertorkar, bäddtorkar eller strömtorkar. När ånga används som torkmedium avtappas den antingen från en befintlig ångcykel eller genereras i en ångpanna för torkprocessen. Ånga kan t.ex. användas i strömtorkar och fluidiserade bäddtorkar. Energianvändningen är lägre i ångtorkar än i rökghostorkar. [13]

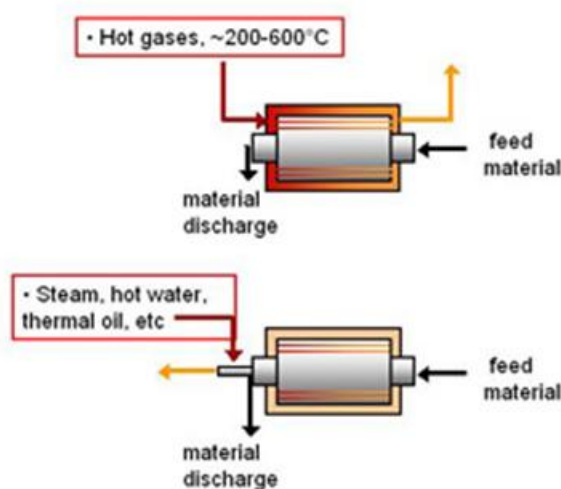
Vid integrering av en pelletsfabrik med ett kraftvärmeverk är det vid just torkningen de stora integreringsmöjligheterna finns. Inventering av befintliga torkningstekniker har därför gjorts för att kunna göra ett val av lämplig torkningsteknik för energikombinatet.

### Rotertork

I en rotertork (kallas även trumtork) transporteras torkgodset i en roterande trumma där en fläkt blåser rökgaser medströms torkgodset. De heta rökgaserna träffar därigenom det fuktiga biobränslet först vilket medför att brandrisken är mindre än om rökgaserna och torkgodset gått motströms. Torkgods och rökgaser i medström medför även att finfraktion har kortast uppehållstid och större partiklar har längst uppehållstid, vilket ger en jämnare torrhalt för ett torkgods med varierande partikelstorlek [14]. Upphållstiden i en rotertork är mellan någon minut och en timme, beroende på torkgodsets storlek [13]. Torktrumman lutar svagt och torkgodset transporteras i trumman när denna roterar. I och med rotationen ökar också kontaktytorna mellan torkgodset och rökgasen vilket ger en bättre torkprocess. En fördel med denna typ av tork är flexibilitet vad gäller torkgods och variationer i partikelstorlek. [14] Rotertorkar, används även vid torkning av säd, och är en beprövad och robust teknik, vilket talar för hög tillgänglighet och lite underhåll [13]. Nackdel är att rökgaser måste finnas tillgängliga, samt att en stor gasvolym med rökgaser och förångade ämnen från torkgodset bildas. Denna gas måste hanteras och renas. Rökgaserna håller höga temperaturer vilket medför att lättflyktiga ämnen förångas i högre grad än om lägre temperatur på torkmediet använts, se avsnitt 3.2. En rotertork har även relativt hög elkonsumtion. [14]

### Indirekt rotertork

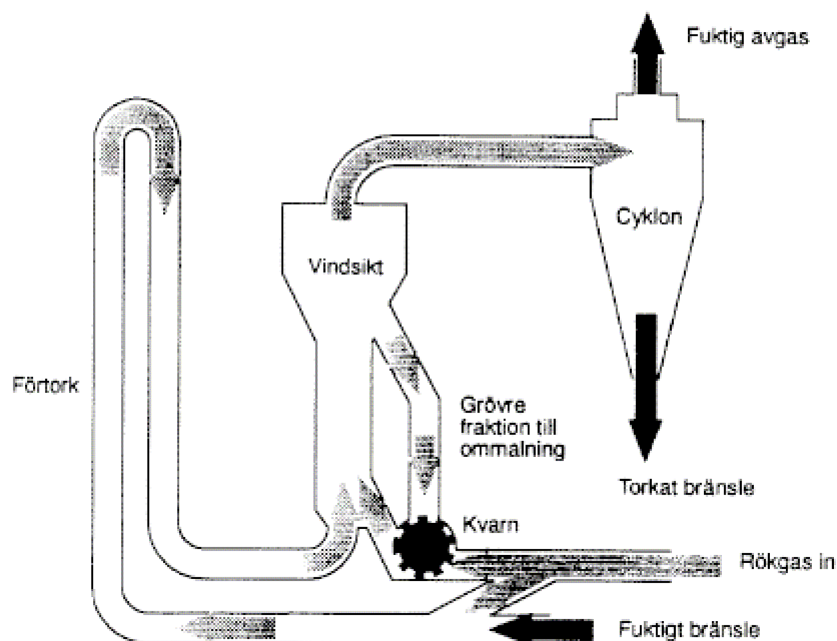
I en indirekt rotertork går värmemediet i tuber i trumman. Värmemediet värmer upp ytan på tuberna som i sin tur värmer torkgodset. I en indirekt tork går torkgodset och rökgaserna motströms, se Figur 4 En fördel med indirekt rotertork i stället för direkt rotertork är att rökgaserna och avdriven fukt från torkgodset inte blandas samt att fläktflödet genom torken är mindre. Därigenom kan rening av förångade ämnen ske lättare. Enligt tillverkare går det att med indirekt torkning få en god värmeåtervinning (80 %). Eftersom torkgodset inte är i direkt kontakt med heta gaser eller ånga så minskar risken för brand. [15]



Figur 3 Exempel på indirekt torkning från Torkapparater [15]

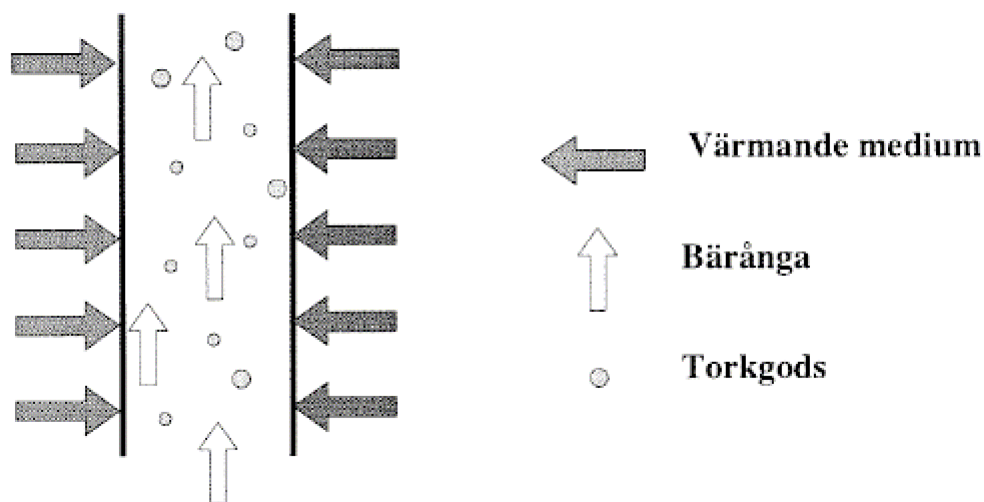


Torkmediet i en strömtork (kallas även flastork eller pneumatisk tork) kan vara rökgaser, överhettad ånga eller luft. Torkningen kan även ske indirekt eller direkt. Vid indirekt torkning med rökgaser värms torkgasen till önskad temperatur. Torkgodset förs sedan med strömmen av torkgas i torken och torkas. Rökgaser kan även användas direkt som torkgas utan föregående värmeväxling, en principskiss för en sådan tork se Figur 4. Här har torken även en inbyggd kvarn för finfördelning av torkgodset. Det torkade bränslet avskiljs från den fuktiga torkgasen i en cyklon. För en strömtork med rökgaser har inkommande rökgaser en temperatur på mellan 160°C och 420°C. För 420°C i inkommande temperatur är utgående rökgastemperatur ca 95°C. [13] Ju högre inkommande temperatur desto högre kapacitet har torken. Elkonsumtionen hos strömtorken är relativt hög eftersom kraftiga fläktar krävs. Det är också viktigt att torkgodset är homogent och i relativt små partiklar. Uppehållstiden i en strömtork är kort, under en minut. [14]. Strömtorken kan byggas på höjden och kräver därmed en liten yta [16]



## Strömtork med ånga

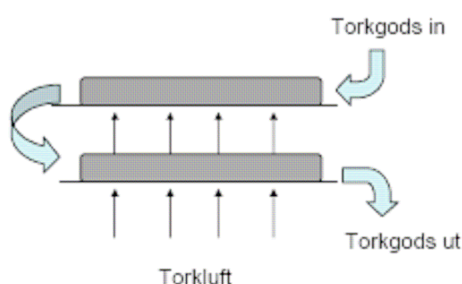
Då torkmediet i en strömtork är ånga kondenserar ånga, med 10-25 bars tryck på utsidan av tuberna i strömtorken och överför värme till bärånga och torkgodset, se Figur 5. Torkången inne i tuberna överhettas av högtrycksången och har ett tryck mellan 2 och 6 bar. [13]



**Figur 5 Princip för en indirekt torkning med ånga i strömtork [13]**

### **Bäddtork**

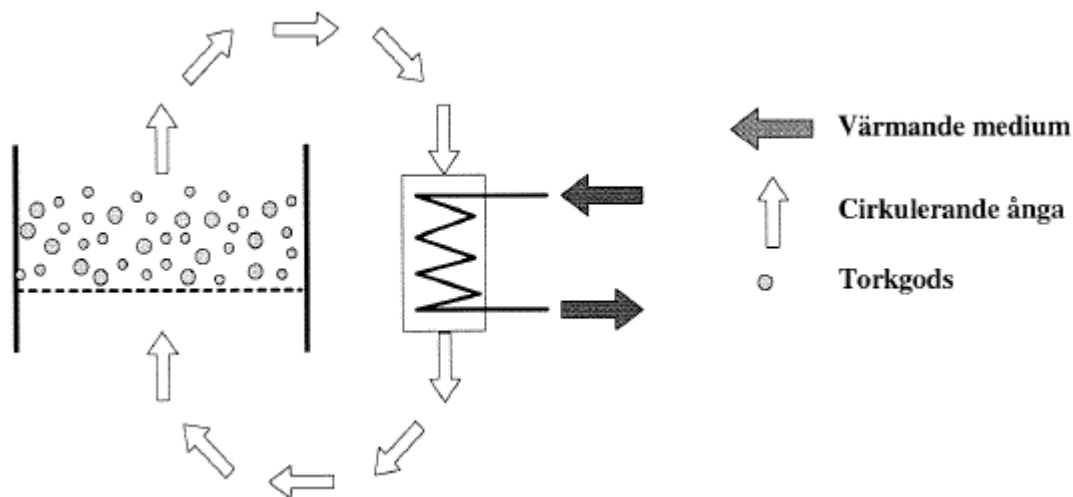
I en bäddtork transporteras vanligen torkgodset på ett perforerat band. Torkgas, varm luft eller rökgaser, blåses med en fläkt genom bädden och torkgodset. Uppehållstiden i en bäddtork är 30-60 min [16]. Genom att ha två nivåer uppnås ett bättre utnyttjande av torkmediet, se Figur 6. Fördelar med bäddtorkar är att värme med låg temperatur kan användas som torkmedium, låg elkonsumtion, enkel teknik och kapacitet att klara variationer i storlek på torkgodset. En nackdel med bäddtorkar är att en stor yta krävs för att uppnå en hög torrhalt [14]. Genom att som i Figur 6, konstruera bäddtorken i flera nivåer minskas ytbehovet.



**Figur 6 Princip för bäddtork i två nivåer [14]**

### **Fluidiserad bäddtork**

Torkgodset finns i ett trycksatt kärl där överhettad ånga med en fläkt blåses med hög hastighet upp i torkgodset. Genom att hög hastighet hålls på ångan fluidiserar bädden. När torkgodset har torkat följer det med ångan upp ur bädden och avskiljs [17]. Ångan överhettas återigen och cirkuleras i torken, se Figur 7. I och med att ångan bär med sig torrt material upp ur bädden krävs att torkgodset är relativt finfördelat. Uppehållstiden i en fluidiserad bäddtork är från ett par sekunder till drygt 10 minuter. [13]



**Figur 7 Princip för en fluidiserad bäddtork. [13]**

### **Lågtemperaturtorkning**

Torkapparater har vidareutvecklat sin indirekta torkteknik för att torka vid låga temperaturer. Torkning med låga temperaturer är särskilt väl lämpad i serie med en högttemperaturtork. Lågtemperaturtorken drivs med spillvärme, ca 80°C, från högttemperaturtorken. Därigenom utnyttjas tillförd energi väl. Detta koncept används av Rindi Västerdala.[18] Svensk Rökgasenergi har en lågtemperaturtork, Renergi LTK, som torkar med luft från 70°C [19]. Liksom med Torkapparaters tork, kan Renergi LTK med fördel kopplas i serie med en högttemperaturtork där torkgasen från högttemperaturtorken värmer luft till lågtemperaturtorken. Lämpliga att använda för lågtemperaturtorkning är även bäddtorkar.

### **3.1.3 Malning och konditionering**

För att få en homogen och hållbar pellets finfördelas materialet ytterligare efter torkning. Detta görs exempelvis i hammarkvarnar. Anledningen att man inte gör all malning i ett steg innan torken är att malningen kräver mera energi desto högre fukthalt råvaran håller [10]. Det finns ett stort antal tillverkare av hammarkvarnar på marknaden då de exempelvis används inom lantbruket för malning av säd och i foderindustrin.

För att öka hållfastheten hos pelletsen och underlätta pelletering, konditioneras pulvret. Konditioneringen sker oftast genom att ånga tillsätts. Pulvret blir då mjukare och pressas lättare ihop till en hållfast pellets. Med konditionerat pulver minskar slitage på pressarna och energiförbrukningen minskar. Som alternativ till ångkonditionering kan bindemedel (lignin) tillsättas för att öka hållfastheten. I dag är konditionering vanligare än tillsats av bindemedel. [10]

### **3.1.4 Pelletering och efterbehandling**

Pelletering sker oftast i planmatriser, ringmatriser eller kolvmatriser. Gemensamt för alla pelletspressar är att pulver pressas av en yttre kraft in i en kanal, matris, som smalnar av. I den avsmalnande matrisen ökar temperaturen till följd av friktion och tryck. Under tryck och den ökade temperaturen binds pulvret ihop till pellets. Den vanligaste pelletspressen är ringmatris med invändiga pressrullar. Pressrullarna eller matrisen roterar och pressrullarna trycker ut råvaran genom matrisen. På utsidan av matrisen skärs pelletsen av vid lämplig längd. Pelletsmatriser utsätts för ett stort slitage och behöver bytas ofta, efter ungefär 2000 h. Kapaciteten hos en stor pelletspress ligger på ungefär 3-6 ton färdig pellets per timme beroende på tillverkare och råvara. [10]

Efter pelletering håller pelletsen en hög temperatur och behöver kylas. Utan kylning finns det risk att fukt avges då pelletsen svalnar. Mikrobiell nedbrytning kan då ske med lägre värmevärde och risk för brand som följd. Det är även risk att hållfastheten minskar och pelletsen sönderdelas utan tillräcklig kylning. Kylning sker genom att pelletsen får möta uteluft antingen i horisontalkylare eller i vertikalkylare. I en horisontalkylare kan pelletsen transporteras på ett perforerat band och uteluft blåsas genom bandet. Alternativt kan pelletsen transporteras på en bandtransportör i ett rör mot en luftström. I en vertikalkylare kan varm pellets släppas ner mot en kall luftström. Sker kylningen av pellets för snabbt finns det risk att pelletsen får en ojämn temperatur där det fortfarande är varmt på insidan. Pelletsen kyles till ungefär 5 grader över rådande utetemperatur. [10]

### 3.2 Miljöpåverkan från pelletsfabrik

Den viktigaste miljöpåverkan generellt från en pelletsfabrik är stark lukt och bildande av marknära ozon. Terpener är de kolväten som ger upphov till det vi uppfattar som ”skogslukt”. Vid höga koncentrationer är terpener ett luktproblem som förutom olägenheter även ger upphov till hälsoeffekter såsom huvudvärk och illamående. Kolväten, exempelvis terpener, tillsammans med kväveoxid bildar i närvaro av strålning från solljus, marknära ozon. [13] Förhöjda halter av marknära ozon kan ge hälsoproblem i form av andningssvårigheter och irritation i slemhinnor, dessutom påverkas växters tillväxt genom att bladen skadas och fotosyntesen hämmas [20]. Förutom lokal påverkan vid pelletsfabriken sker även miljöpåverkan vid uttag av råvara ur skogen, transport av råvara och vid transport av färdig pellets, samt vid elproduktion. Dessa områden är utanför examensarbetets systemgränser, se 1.3.

Biobränsle består av cellulosa, hemicellulosa, lignin, mineralämnen och extraktivämnen. Extraktivämnen är fetter, vaxer, hartssyror, fenoler och terpener. Vid torkning av biobränsle förångas flyktiga extraktivämnen, vilka till 90 % består av terpener. Karboxylsyror och lätta alkoholer, som är flyktigare än vatten, avges också. Hur mycket som förångas beror på torktemperatur, torkgods och torkteknik. Ju högre torktemperatur desto större andel flyktiga komponenter i biobränslet förångas. Vid torkning i mycket höga temperaturer sker även pyrolys. Vid pyrolys sönderdelas tyngre kolväten till lättare och så mycket som 50-90 % av biobränslets torrsustans kan förångas.[13] Andel extraktivämnen som förångas beror på råvara, i Tabell 3 redovisas andel extraktivämnen för olika träslag, samt för stamved och bark. Ur Tabell 3 utläses att bark innehåller betydligt mera extraktivämnen än stamved, speciellt för björk där hela 12 % av torrsustansen i bark består av extraktivämnen, tall är det träslag med högst andel extraktivämnen i stamveden men också det träslag med lägst andel extraktivämnen i barken.

**Tabell 3 Andel extraktivämnen, % av TS, i olika biobränslen, [13]**

Träslag	Eterlösliga extraktivämnen i ved, % av TS	Eterlösliga extraktivämnen i bark, % av TS
Björk	1-3,5	12
Tall	2,5-4,8	4
Gran	1-2	6

Förångning av lättflyktiga ämnen beror även på lagring och hantering av råvaran. Vid lagring av biobränsle avgår terpener, hur mycket som avgår vid lagring beror på lagringstiden, men även på årstid för avverkning och omgivande temperatur. [21] Om en stor andel terpener har avgått vid lagring blir avgången mindre vid torkanläggningen.

Vid torkning med rökgaser i direkta torkar fås ett stort flöde med rökgaser tillsammans med avdriven fukt och förångade ämnen från torkgodset. Det stora flödet innebär att en stor reningsanläggning krävs. Problem med bildande av marknära ozon är störst vid direkt torkning med rökgaser då kväveoxider från förbränningen blandas med förångade kolväten i torkgasen. Vid torkning med indirekta ångtorkar däremot fås ett begränsat flöde med förorenad ånga. Denna ånga kondenseras och ett förorenat kondensat och en ångfas med okondenserbara ämnen fås. Det förorenade kondensatet behöver renas i egen reningsanläggning då det innehåller ämnen, bl.a. fenoler, som kan störa reningsverkens kväverening. Okondenserbara ämnen destrueras exempelvis i pannan. På grund av det begränsade flödet behöver reningsanläggningen inte vara lika stor, och därmed inte lika kostsam, som vid direkt rökgasrening. [13]

Pelletstillverkning orsakar även en del buller. De processteg som orsakar mest buller är pelletspressar, hammarkvarnar och fläktar. Erfarenheter finns från befintliga anläggningar som har haft klagomål angående buller [22, 23, 24]. Problemet har åtgärdats genom att genomföra bullerminskande åtgärder. [22, 23]

## **4 Befintliga pelletsfabriker och energikombinat**

Som tidigare nämnts finns det idag över 80 pelletsfabriker i Sverige med en total produktion på över 2 000 000 ton pellets per år [5]. Utav de dryga 80 pelletsfabrikerna är ca 10 nyligen tagna i drift, kommer att tas i drift inom kort eller är på planeringsstadiet [5]. Dessa nya anläggningar har en gemensam kapacitet på ca 900 000 ton pellets per år. En kartläggning över råvara, använd teknik och spillvärmeanvändning har gjorts på 14 av de största pelletsfabrikerna, se Appendix 2. Syftet med kartläggningen är att få en överskådlig bild av råvaruanvändning och teknik som används i processen.

Av de undersökta fabrikerna har 11 av 14 sågspån som råvara, antingen bara sågspån eller med inblandning av torrt kutterspån eller flis. Resterande tre fabriker använder enbart torrt kutterspån som råvara. Rökgaser är det vanligaste torkmediet, 10 av 11 använder rökgaser. Direkt trumtork är den vanligaste torktekniken, åtta stycken. En fabrik har direkt strömtork med rökgaser.

Kvaliteten på spillvärmen från en biobränsletork är beroende val av torkmetod. Möjligheterna att ta till vara spillvärmen styrs till stor del av geografisk placering. Är pelletsfabriken belägen i närheten av eller inom rimligt avstånd till fjärrvärmenät kan spillvärmen levereras dit. Ett flertal av anläggningarna som använder rökgastorkar säljer spillvärme till en lokal fjärrvärmeleverantör eller till eget fjärrvärmenät. Ett annat användningsområde för spillvärmen är att förtorka biobränslet i en lågtemperaturtork där torkmediet är spillvärme från högtemperaturtorken. Detta görs t.ex. av Derome Bioenergi.

Fyra energikombinat med pelletstillverkning har studerats mera ingående för att få en utförligare bild av respektive kombinats produktionsprocesser. Dessa energikombinat beskrivs nedan.

### **Härjedalens Miljöbränsle**

Härjedalens Miljöbränsle, HMAB, i Sveg tillverkar pellets och briketter av rent spån, och av torv med en inblandning av träspån. Årsproduktion av pellets väntas år 2007 uppgå till 30 000 ton. Produktionskapaciteten för pellets är 10 ton/h och för briketter 40 ton/h. Torkning av råmaterialet sker i två parallella linjer som vardera har en kapacitet på 19 ton torkat material

per timme. Torklinjerna är alltså begränsande för kapaciteten. Torkningen sker indirekt med ånga i en så kalla strömtork. Ångtrycket in i torken är 16 bar och ut ur torken 4 bar. Ångan genereras i en liten ångpanna vid uppstart av produktionen. Under drift komprimeras lågtrycksånga av eldrivna motorer till 16 bar och återförs in i torken. Torkgodset ut ur torken har en temperatur på 150°C. Delar av den förångade fukten från torkgodset, smutsånga, förvärmer ånga innan kompression, och resten kondenseras i fjärrvärmekondensorer för värmeleverans till E.On:s fjärrvärmenät i Sveg. Fjärrvärmereturen används för att värma upp de egna lokalerna. Smutsigt kondensat kyles ner till 40°C, pH-justeras och går till fyra stycken sedimenteringsdammar innan det släpps ut till recipienten Ljusnan. Botten i dammarna är täckta av ett torvlager. Det sker ingen avskiljning av terpenier eller andra lättflyktiga ämnen innan rening i dammarna. Fabriksområdet upptar en yta på ca 125 000 m<sup>2</sup>, exkl. lager av färdig pellets.[25]

### **Rindi Västerdala AB (tidigare Västerdala Bioenergi AB)**

Rindi Västerdala i Vansbro tillverkar idag pellets med träspån som råvara. Årsproduktionen i dag är 45-50 000 ton. Förutom pellets producerar Rindi Västerdala 22 GWh värme och 2 GWh el.

Tester har gjorts med enbart obarkad rundved som råvara, med bra resultat. Pelletsen fick högre askhalt än spånpellets men det var fortfarande inom tillåtna värdena i standarden för Grupp 1 pellets, Appendix 1, Standard för pellets. Försök planeras på avbarkad rundved där ännu lägre askhalter förväntas. Rindi Västerdala planerar att gå över helt och hållet till rundved som råvara.[26] Torkning sker i en tvåstegs torkprocess med indirekta tubtorkar från Torkapparater [27]. Värmemediet är 16 bars ånga. Genom att installera ytterligare en pelletspress samt en lågtemperaturtork från Svensk Rökgasenergi ska produktionskapaciteten Terpenier och andra tjärprodukter avskiljs och förbränns i pannan. Resterande kondensat från torkarna pH justeras och renas genom sandfilter för att sedan släppas ut till recipient. [26]

### **Hedensbyn Bioenergikombinat, Skellefteå Kraft**

Skellefteå Kraft tillverkar pellets av sågspån med en inblandning av 20 % rundved som råvara. Rundveden sönderdelas i en dieseldriven trumhugg med en kapacitet på 70 ton/h. Årsproduktionen är ca 135 000 ton pellets per år, och produktionskapaciteten är 28 ton färdig pellets per timme. Pelleten säljs både till småkunder och till värmeverk. Råvaran torkas i en indirekt strömtork med ånga från kraftvärmeverkets ångturbin som torkmedium. Hedensbyns bioeldade kraftvärmeverk invigdes 1996, och 1997 togs pelletsfabriken i drift. Redan när kraftvärmeverket byggdes fanns planer på att integrera kraftvärmeverket med en bränslefabrik och förberedelser för avtappning av ånga från ångturbinen gjordes på två ställen (12 bar och 26 bar). Den förorenade ångan, som drivits av från bränslet, förångar rent kondensat som sedan driver en lågtrycksturbin för elgenerering. Fjärrvärmekondensorer tar till vara övrig spillvärme. På så sätt återvinns torkenergin och anläggningen får en hög totalverkningsgrad. [22]

### **BioStor, Storumans Bioenergikombinat, Skellefteå Kraft**

Efter bioenergikombinatet i Hedensbyn har Skellefteå Kraft fortsatt satsa på bioenergikombinat och bygger BioStor i Storuman. Försöksdrift pågår under hösten 2007 och BioStor beräknas att tas i drift i början på 2008. Anläggningens produktionskapacitet beräknas bli 105 000 ton pellets per år. Förutom pellets kommer 48 GWh el och 40 GWh värme att levereras. Råvara till anläggningen är sågverksavfall från regionen och skogsråvaror som rundved, gallringsvirke, toppar och energived. Liksom i Hedensbyn används en strömtork

med ånga som torkmedium. Genererad lågtrycksånga återförs till ångturbinens lågtrycksdel för elgenerering. [5, 22]

Sammanfattningsvis använder samtliga energikombinat ånga som torkmedium. Till skillnad från övriga pelletsfabriker, är val av råvara inte enbart såg- och kutterspån. Härjedalens Miljöbränsle har sågspån och torv som bränsle, Rindi Västerdala har sågspån men planerar att gå över helt till rundved, Hedensbyn har sågspån med inblandning av rundved och Storuman kommer att ha sågverksavfall, rundved, grot etc. som råvara.

Förutom de fyra studerade energikombinaten planeras energikombinat med pelletsproduktion av Bergkvistsågen i Insjön (200 000 ton pellets i kombination med el och värmeproduktion)[5], i Älvdalen av BA Energi (45 000 ton pellets av grot) [28] och i Överkalix(pilotanläggning med tillverkning av pellets och andra bioenergiprodukter)[29]. Härjedalens Miljöbränsle har omfattande planer på en utbyggnad till en pelletsfabrik med en kapacitet på upp till 200 000 ton pellets, kraftvärmeverk, etanolfabrik, fjärrvärme, värme till växthus samt integrering med lokala sågverk för sågspån och fjärrvärmeutbyte.[30]

## **5 Rya Kraftvärmeverk integrerad med pelletsfabrik**

### **5.1 Anläggningsbeskrivning, Rya Kraftvärmeverk**

Rya KVV är ett nytt gaskombikraftverk, som togs i drift i december 2006 och eldas med naturgas. Kraftvärmeverkets installerade effekt är 295 MW värme och 261 MW el. Totalverkningsgraden är på 92,5 %, elverkningsgraden är 43,5 % och  $\alpha$ -värdet, dvs. elutbytet, är 0,9. [1]

Produktionen i Rya KVV sker i tre parallella linjer. Naturgas förbränns i tre gasturbiner med en eleffekt på 44 MW vardera. Efter expansion i gasturbinerna leds rökgaserna till respektive avgaspanna där rökgaserna hettas upp med tillsatseldning, här förbränns med andra ord ytterligare naturgas för att höja rökgastemperaturen. I avgaspannan leds vattnet i ångprocessen motströms mot rökgaserna för att förångas. Rökgaserna har, efter rening och förvärmning av fjärrvärmereturen, en temperatur på 70°C när de släpps ut i skorstenen. Det förångade vattnet överhettas i tre överhettare. Ångan leds därefter till en gemensam ångturbin för de tre linjerna. Ångdata vid inloppet till ångturbinen är 100 bar och 540°C. I ångturbinen expanderar ångan i flera delsteg, expansionen driver rotorn, vilken i sin tur driver generatoren som genererar en eleffekt på 137 MW. Ångturbinen är en mottrycksturbin där ångan efter turbinen överför värme till fjärrvärmesystemet genom två fjärrvärmekondensorer. [1]

Före ångturbinen finns en ventil för möjlighet att leda ångan förbi ångturbinen till en direktkondensor. Direktkondensorn används då turbinen startas upp samt vid störningar som medför att ångan av någon anledning inte kan ledas genom ångturbinen. Ångturbinen har även en avtappning vid tre bar för avtappning av ånga till matarvattentank. I matarvattentanken förvärms vattnet i ångcykeln efter fjärrvärmekondensorererna innan de når avgaspannan. Den lägsta last då Rya KVV körs är vid 20 % av max bränsleeffekt, dvs. då en av linjerna går på 60 % av maxlast. [1, 2]

### **5.2 Anläggningsbeskrivning, Pelletsfabrik**

#### **5.2.1 Råvara och förbehandling**

I tidigare avsnitt har det nämnts att val av råvara påverkar produktionsprocessen med avseende på sönderdelning och tork, och även kvaliteten, askhalten, på den färdiga pelletsen.

Enligt inventering av befintlig produktion, avsnitt 4, är den vanligaste råvaran sågspån. Till följd av att efterfrågan på och produktion av pellets ökar, minskar tillgången på sågspån. 2004 bedömdes det att sågspån som råvara snart skulle vara fullt utnyttjad. [31] Detta bekräftas ytterligare av att Rindi Västerdala planerar att gå över helt till rundved då det är svårt att få tag på sågspån till bra priser. Även spånskivetillverkare har börjat använda rundved som råvara till sin produktion [32]. Till följd av uppgifterna ovan som pekar på att sågspån är fullt utnyttjat har rundved, klen massaved eller skadad massaved som massaindustrin inte har användning för, antagits utgöra råvara till energikombinatet. Som nämnts tidigare har försök hos Rindi Västerdala visat att det är möjligt att tillverka pellets av rundved, med tillräckligt låg askhalt för att klassas som Grupp 1 enligt Svensk standard, Appendix 1.

Inkommande råvara till tomten bestämmer pelletsfabrikens produktionskapacitet. Då den tänkta tomten är belägen centralt i Göteborg är transportmöjligheterna begränsade. En produktionskapacitet på 18 ton pellets/h har därför valts. Som referens studeras även produktionskapaciteten 9 ton pellets/h.

Råvaran finfördelas i en trumhugg. Trumhuggen sönderdelar råvaran till så kallad microflis på ca 6 mm [33]. Flisning av rundved med trumhugg åstadkommer mycket buller (upp emot 100dB [22]). Pga. buller men också för att undvika problem med lukt och damm vid fabriken, är huvudalternativet för energikombinatet att flisningen sker vid terminal och levereras flisad till pelletsfabriken. Den flisade råvaran tippas vid leverans till fabriken i tippfickor. Från tippfickorna transporteras microflisen med transportörer till två råvarusilos. Råvarusilosarna rymmer ett lager motsvarande ca 14 dagars maxdrift på pelletsfabriken.

### **5.2.2 Tork**

Torksystemet har valts efter kartläggning av tillgänglig torkteknik och använd torkteknik hos befintliga pelletsfabriker. Med energikombinatet eftersträvas en ökad värmelast och ett högt nyttjande av energin. För att uppnå högt nyttjande av energin bör spillvärmen från energikombinatet användas. En del av de kartlagda pelletsfabrikerna tar till vara på spillvärmen genom att leverera fjärrvärme. Då syftet är att öka värmelasten valdes inte detta alternativ. Bland energikombinaten tas spillvärmen till vara genom att driva förtork (Rindi Västerdala), en så kallad lågtemperaturtork, och för elproduktion (Skellefteå Kraft, Hedensbyn och Storuman). I båda lösningarna nyttjas en stor del av den tillförda energin, för Skellefteå Krafts fabriker ökar dessutom elproduktionen.

För energikombinatet väljs en ångtork i stället för en rökgastork för att minska risken för luktproblem och bildande av marknära ozon, samt att flödet av rökgaser/luft alternativt kondensat som behöver renas är mindre och lättare att kontrollera.

Inom examensarbetet har ett torksystem med två delalternativ studerats. Torksystemet har en förtork och en sluttork. Sluttorken är en ångtork med möjlighet till elproduktion i kondensatorn, vilket studeras i Torkalternativ 1. Med Torkalternativ 2 undersöks möjligheten att förtorka till en högre torrhalt i stället för att använda spillvärmen till elproduktion som i Torkalternativ 1.

Två ångtryck till ångtorken studeras och utvärderas. Ett lägre ångtryck innebär att mera ånga krävs för att torka en viss mängd biobränsle. Avtappas ånga vid ett lägre ångtryck kan mera el produceras innan ångan används för torkning.



### **Torkalternativ 1, ångtork, bäddtork och kondensturbín**

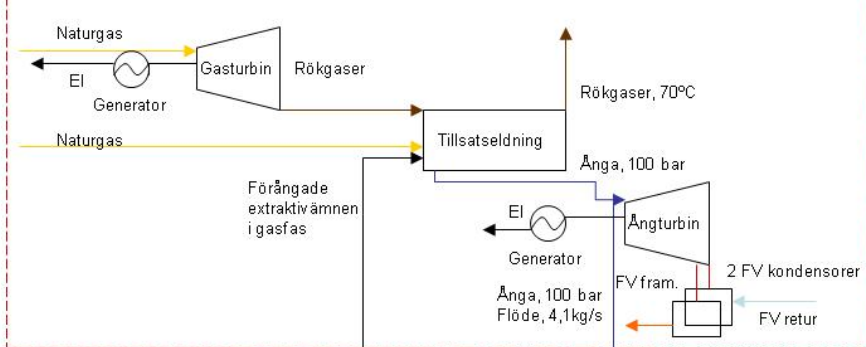
Processschema för torkalternativ illustreras i Figur 8. Den ingående råvaran antas ha en fukthalt på 50 % och den torkade mikroflisen en fukthalt på 10 %. För energikombinatet har två torkar valts, en ångtork från Exergy Consulting och en bäddtork, också den från Exergy Consulting. I bäddtorken torkas mikroflisen till 42-43,5 % fukthalt (beroende på tryck på avtappningsånga), i ångtorken fortsätter torkprocessen ned till 10 % fukthalt. Ångtorken är en trycksatt indirekt tork med stående värmeväxlare. På insidan av tuberna i värmeväxlaren transporteras torkgodset och på utsidan kondenserar torkmediet. Torkgodset matas in i torken med en trycksäker cellmatare. I torken cirkuleras torkgodset med återförd smutsånga (ånga förorenad med lättflyktiga ämnen från torkgodset) genom torktuberna med hjälp av en fläkt. Trycket på bränslesidan är 5 bar. På utsidan av torktuberna kondenserar mättad ånga av 15 alt. 20 bar och värme överförs till torkgodset så att fukt förångas. [16] Försörjning av ånga till ångtorken sker från Rya KVV. Efter tillsatseldningen i kraftvärmeverket, vid ventil för direktkondensering, leds ett ångflöde av. Detta ångflöde får expandera i en ny ångturbín till 15 alt. 20 bar för att generera el och leds därefter in i torken där den kondenserar på utsidan av tubväggarna. Det rena högtryckskondensatet flashas, dvs. trycket sänks varvid en del av kondensatet förångas. Den smutsiga 5 bars ångan tvättas i en skrubber och leds därefter till en ångomformare. I ångomformaren förångas 5 bars ångan, delar av det rena kondensatet. Vid ångomformaren avskiljs terpenier och andra flyktiga ämnen som inte avskiljs vid skrubbern. [16] Dessa ämnen förbränns i Rya KVV:s tillsatseldning. Enligt tillverkaren av Rya KVV:s tillsatseldning kan eventuellt en ny brännare behöva installeras i tillsatseldningen för förbränning av terpenier och andra flyktiga ämnen. En vidare utredning behöver göras, men en första bedömning är ändå att förbränning av dessa ämnen i tillsatseldningen är möjlig. [34] Även kondensatet från smutsig ånga innehåller förångade extraktivämen, kondensatet pH justeras och renas.

Flashad ånga och ånga från ångomformaren leds tillsammans till en lågtrycksturbín där den får expandera från 4,6 bar till 0,1 bar. Lågtrycksturbínen är en kondensturbín som kyls med havsvatten för att få största möjliga elproduktion. Den del av det rena kondensatet som inte har förångats används för att värma luft till bäddtorken. I bäddtorken blåses varm luft genom en perforerad bädd med 0,5-1,5 m tjockt lager av torkgods. När den varma luften blåses genom det fuktiga torkgodset kyls den och blir mättad [16]. Efter värmewäxling leds det rena vattnet tillbaka till kraftvärmeverkets ångcykel i matarvattentanken. Vattnets temperatur växlas ner till 105°C. Detta är den temperatur som matarvattentanken förvärmer till, genom att inte växla till en lägre temperatur behöver inte vattnet från torkcykeln förvärmas. Luftflödet från bäddtorken innehåller enbart ämnen som förångas vid 30°C. Förångade ämnen är jämförbara med ämnen som förångas från en skog en varm sommardag varför ingen rening antas behövas. [16]

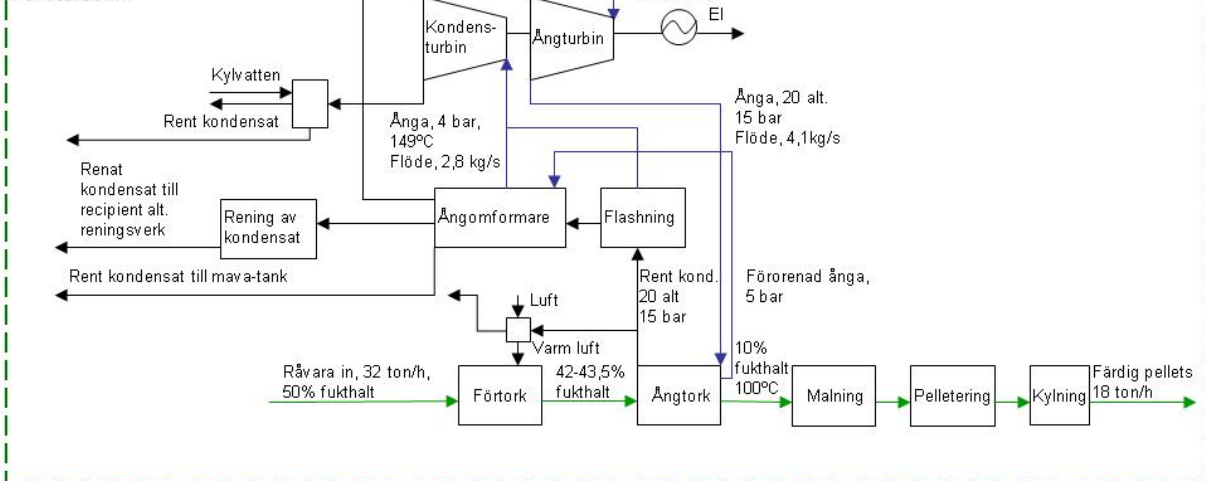
## Bioenergikombinat, Rya Kraftvärmeverk och pelletsfabrik

Alternativ 1

Rya Kraftvärmeverk



Pelletsfabrik

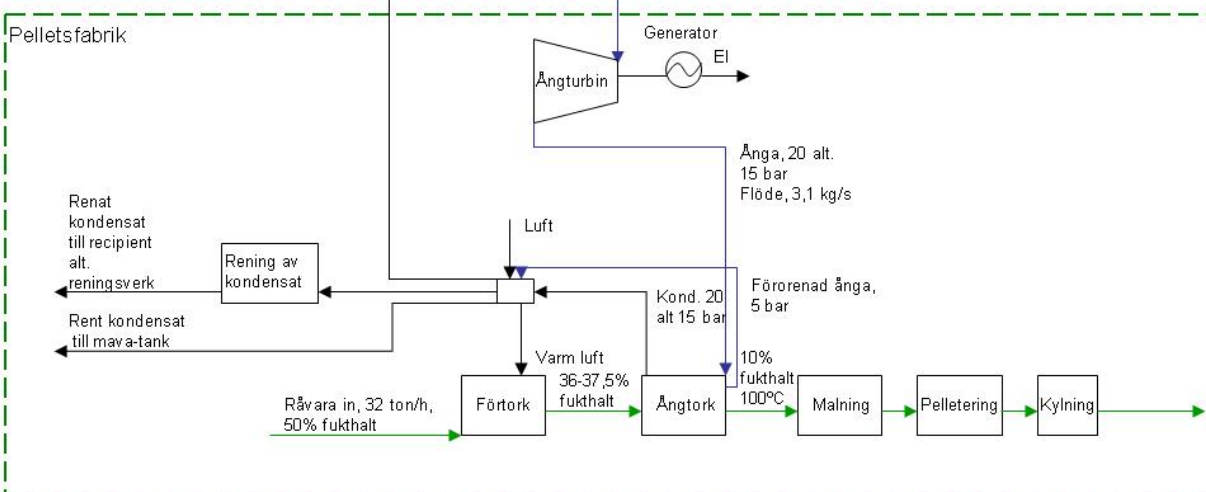


Figur 8 Processchema för Energikombinat Rya KVV och pelletsfabrik. Alternativ 1

### Torkalternativ 2, ångtork och bäddtork

Liksom i alternativ 1 förtorkas torkgodset i en bäddtork och sluttorkas i en ångtork. I detta alternativ, se processchema Figur 9, finns ingen ångomformare, istället värmer allt rent kondensat samt förorenad ånga luft till bäddtorken. Därigenom kan microflisen torkas till en lägre fukthalt, 36-37,5 %, i bäddtorken [16]. Det rena kondensatet återförs till kraftvärmeverkets ångcykel med en temperatur på 105°C. Från det smutsiga kondensatet avskiljs terpener och andra flyktiga ämnen och kondensatet renas. Då bäddtorken torkar till en lägre fukthalt än i torkalternativ 1 behöver inte ångtorken förånga lika mycket vätska och därmed behövs inte lika mycket ånga från kraftvärmeverket.

### Alternativ 2

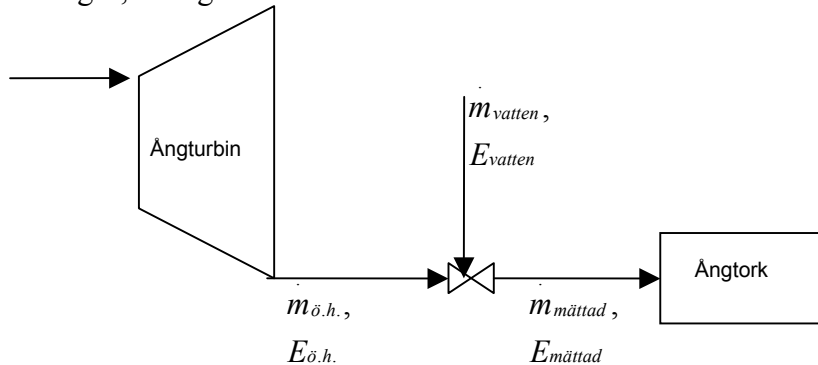


### 5.2.3 Malning, pelletering och kylning

Det innebär att pelletering antas ske i ringmatriser och kylning i motströmskylare. För 18 ton pellets i timmen används fyra eller fem pelletspressar (en pelletspress pressar ca 3-6 ton/h [10]), för 9 ton pellets i timmen används två eller tre pelletspressar. Vid pelletering fås ofta en viss del finfraktion som inte pelleteras. För beräkningar har antagandet att all råvara pelleteras gjorts. Vid kylning avgår ytterligare en viss mängd fukt och pelletsen får därmed en lägre fukthalt än 10 %. En lägre fukthalt medför ett högre värmevärde men också en lägre produktion i antal ton per år då det är mindre fukt. För beräkningar antas att ingen fukt avgår.

För att torka inkommande råvara i tvåstegstorken används som tidigare nämnts ånga från kraftvärmeverket. Erforderliga ångflöden har beräknats av torkleverantören för det valda systemet, Exergy Consulting. Mest ånga kräver alternativ 2A där 18 ton pellets produceras i timmen, ångtrycket är 15 bar och kondenssturbin används. Ångan produceras i Rya KVV och expanderar i en högtrycksturbin innan den når torken. Ångan ut ur högtrycksturbinen håller 15 respektive 20 bars tryck och är överhettad. I torken kondenserar ångan på utsidan av

tuberna för att överhätta 5 bars bärången inuti tuberna. Det är vid kondensering från mättad ånga till vätska som den största värmeavgången sker. Ången in till torken bör därför vara mättad för att bäst nyttja den värmeöverförande ytan i torken och få högst effektivitet på torken [16]. För att mäta den överhettade ången kyls ången genom att vatten trycks in och förångas, se Figur 10.



**Figur 10 Mätning av överhettad ånga [egen skiss efter granryd?]**

Utifrån energi- och massbalanser, Formel 1 och Formel 2, beräknas det massflöde överhettad ånga och vatten som behövs för att få det erforderliga massflödet av mättad ånga till torken.

$m_{\text{ö.h.}}$  är med andra ord det massflöde ånga som avtappas innan ångturbinen på Rya KVV och därefter expanderar i en ny ångturbin till 15/20 bar.

#### Formel 1 Energibalans

$$E_{\text{ö.h.}} + E_{\text{vatten}} = E_{\text{mättad}}$$

$$E = m \times H$$

#### Formel 2 Massbalans

$$m_{\text{ö.h.}} + m_{\text{vatten}} = m_{\text{mättad}}$$

$E$  är energi, kJ, i överhettad ånga, vatten och mättad ånga.

$m$  är massflöde, kg/s, för överhettad ånga, vatten och mättad ånga.

$H$  är entalpi, kJ/kg, för aktuellt tryck och temperatur

För att producera den avtappade ången sker en ökning av förbränning av naturgas. Antagandet att all ökning av förbränning av naturgas sker i tillsatseldningen har gjorts. Beräkning av den mängd extra naturgas som förbränns har gjorts efter formel 3.

#### Formel 3 Bränsleeffekt [35]

$$P_{\text{bränsle}} = (P_{\text{värme}} + P_{\text{el}}) / \eta$$

$P_{\text{bränsle}}$  är bränsleeffekten, MW, naturgas som förbränns extra

$P_{\text{värme}}$  är den värmeeffekt, MW, massflödet ånga motsvarar om det hade växlats till fjärrvärme i Rya KVV:s fjärrvärmekondensorer

$P_{\text{el}}$  är den eleffekt, MW, massflödet ånga motsvarar om det hade expanderat i Rya KVV:s ångturbin

$\eta$  är verkningsgraden för producerad el och värme från tillsatseldningen vid Rya KVV. I anläggningsinformationen om Rya KVV, avsnittet 4.1.2, redovisas totaltverkningsgraden 92,5 %. Detta gäller för hela anläggningen med förbränning i gasturbinerna och tillsatseldningen.

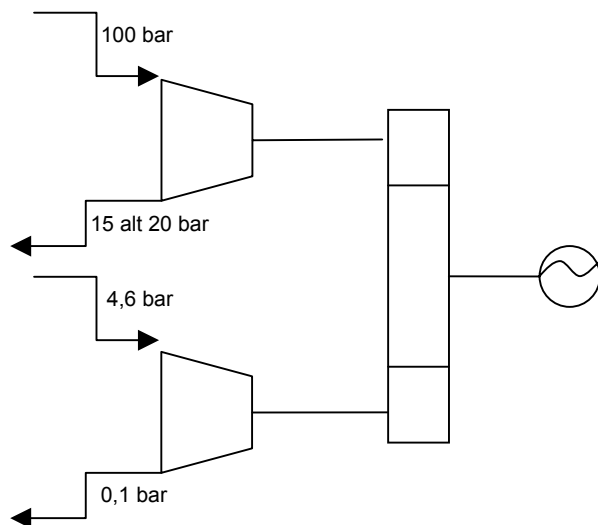
Eftersom all extra bränsletillförsel antas ske i tillsatseldningen används inte Rya KVV:s totalverkningsgrad utan verkningsgraden för tillsatseldningen som är 95 % [2]. Verkningsgraden har i beräkningarna antagits vara konstant och oberoende av last.

Bränsleeffekten multipliceras med drifttiden för pelletsfabriken för att få tillförd energi i form av naturgas som åtgår för ångproduktionen per år. Energimängden naturgas redovisas i resultatavsnittet Tabell 5.

## 5.4 Elproduktion

Elproduktion i energikombinatet sker i Rya KVV:s tre parallella gasturbiner och ångturbin samt i ny högtrycksturbin och för torkalternativ 1 även i ny kondensurbin. Antagandet att all generering av ånga till pelletsfabriken kommer från en ökad tillsatseldning medför att gasturbinerna inte påverkas av energikombinatet. All förändring av elproduktion i energikombinatet kommer då att ske i ångturbiner. För beskrivning av elgenerering med ångkraftsprocessen se Appendix 3.

De nya högtrycksturbinerna är av modell AFA 4 från tillverkaren Kuehnle, Kopp & Kausch, KK&K. KK&K, som är en del av Siemens, tillverkar små turbiner i storleksintervallet 450kW- 5 MW. Turbinerna har max två turbinsteg och möjlighet till avtappning saknas. Däremot kan två turbiner kopplas till samma generator med antingen gemensam växel eller var sin växel I torkalternativ 2 där det förutom en ny högtrycksturbin även finns en ny kondensurbin är dessa turbiner parallellkopplade enligt Figur 11. Högtrycksturbinen parallellkopplas med kondensurbinen, AFA 6, och turbinerna driver samma generator.[34]

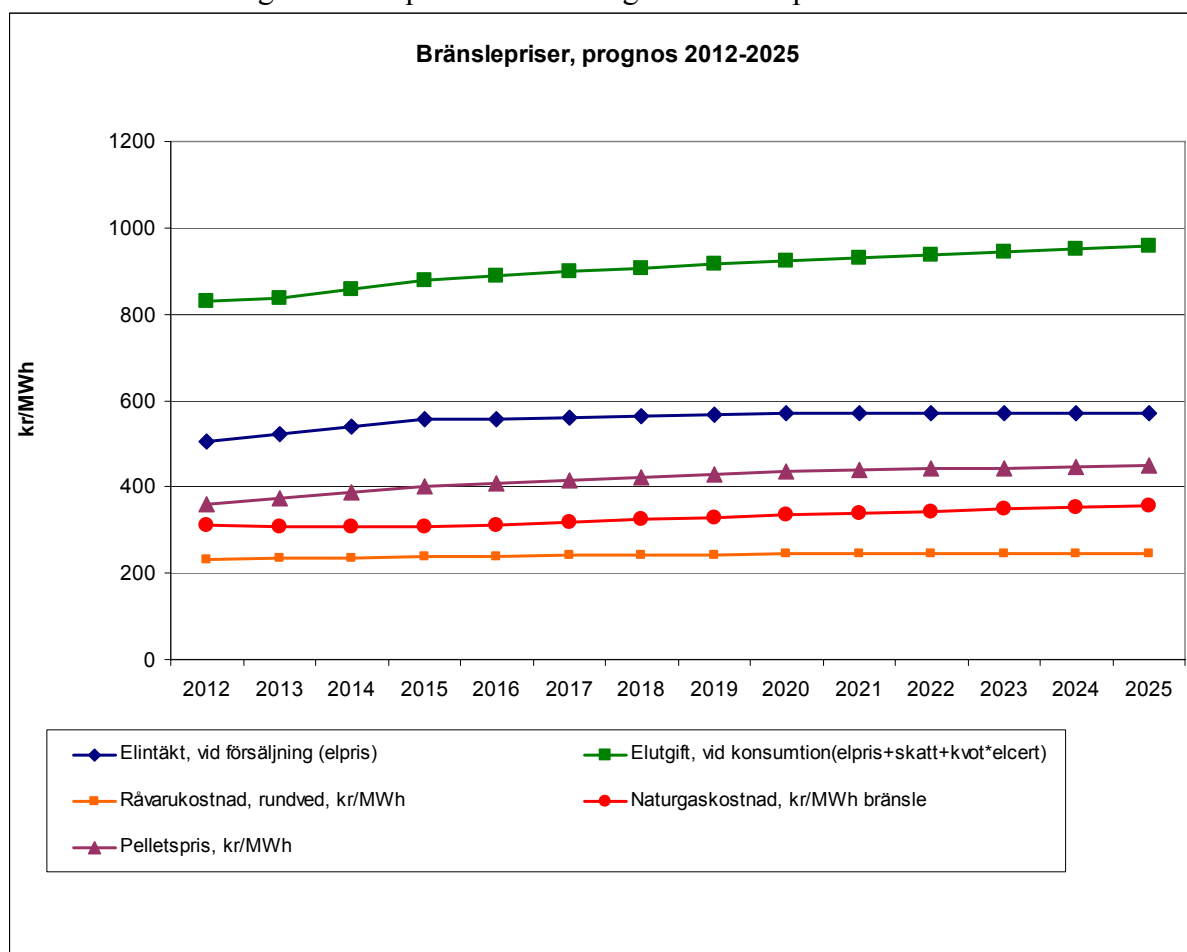


Figur 11 Principskiss för två parallellkopplade turbiner [34]

## 5.5 Bränslepriser

För analysen har de prisprognoser som används av Göteborg Energi antagits för el, naturgas och pellets. Dessa sammanställs i "Värmeproduktionsplan för fjärrvärme i Göteborg 2008-2025" [12], VPP. Vid tiden för simuleringar i Martes fanns ännu inte VPP 2008, varför VPP 2007 användes. För råvaran, rundved, är priset 2007, 180 kr/MWh. För flisning av råvaran tillkommer ca 15 kr/MWh. Då huvudalternativet är att flisning sker vid terminal tillkommer ytterligare en kostnad på ca 15 kr/MWh, detta är en antagen kostnad för lossning och lastning av bränslet. [36] Prisutveckling för rundved har antagits vara densamma som för flis. Prisutvecklingen för bränslen, tillsammans med energiskatter, koldioxidskatt, pris på elcertifikat och eleffektsavgift i Figur 12 nedan. Samtliga bränslen har en prisökning under

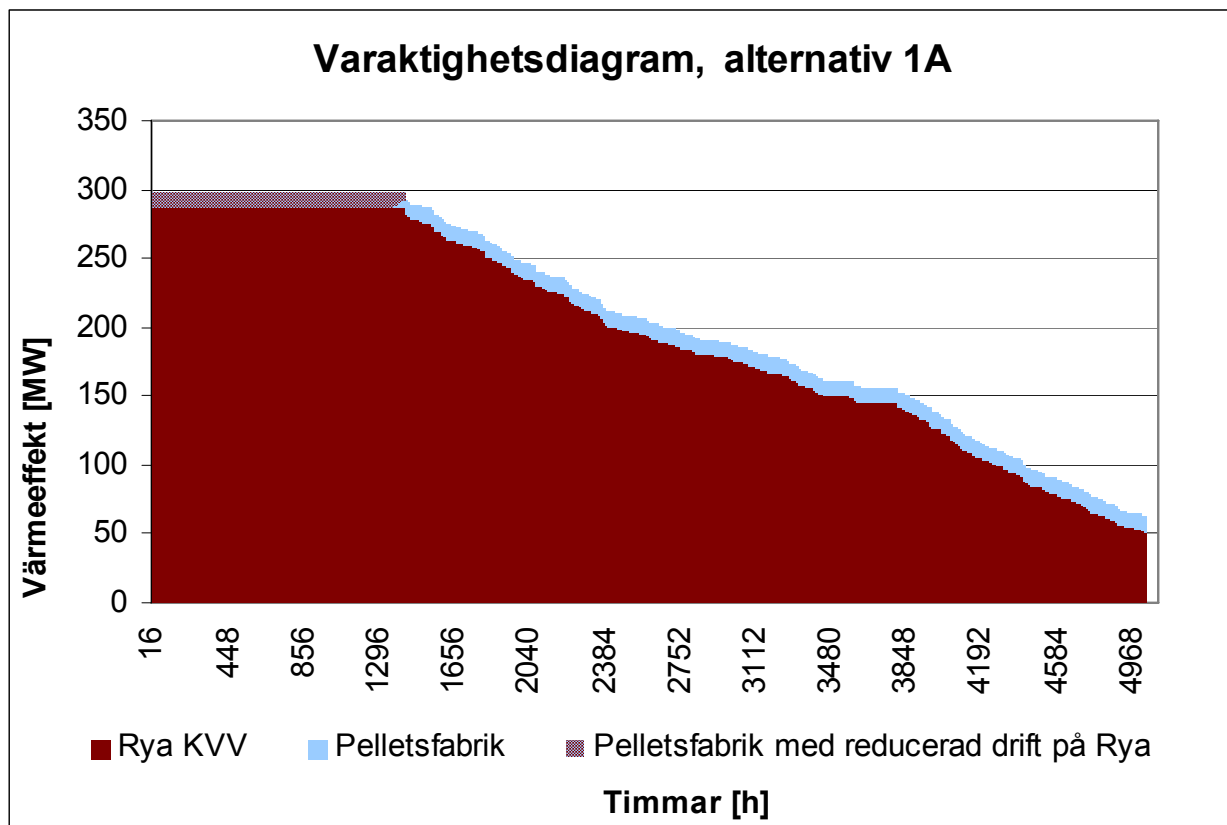
perioden på 5-25 %. Råvarukostnaden beräknas öka minst och pelletspriser ökar mest. Detta innebär att vinstmarginalen för pelletstillverkning ökar under perioden.



Figur 12 Prognos för utveckling av bränslepriser [12]

## 6 Resultat

För att Rya KVV ska kunna köras krävs att värmelasten är motsvarande 20 % av ingående bränsleeffekt. När lasten ökar till följd av pelletsfabriken så sker en liten ökning i drifttid då det är lönsamt att köra Rya KVV. Genom integreringen så ökar även Rya KVV:s utnyttjningstid något. Ökningen i drifts- och utnyttjningstid är dock liten, se diskussionen i avsnitt 8. I Figur 13 återfinns varaktighetsdiagram för alternativ 1A. Det mörkröda fältet motsvarar kraftvärmeverkets drifttid, det ljusblå fältet motsvarar ökat utnyttjande till följd av pelletsfabriken. Det rutade fältet motsvarar den tid och effekt som levererad effekt reduceras från kraftvärmeverket till följd av pelletsfabriken.



Figur 13 Varaktighetsdiagram för energikombinatet, alternativ 1A

## 6.1 Påverkan på befintliga spetslastanläggningar

Under de perioder då Rya KVV utan pelletsfabriken normalt skulle ha levererat maxeffekt, kommer nu inte full värmeeffekt att levereras till fjärrvärmenätet. För att kompensera detta körs spetslastanläggningar mera för att även dessa dagar producera erforderlig värmeeffekt. Med antagna indata är de bränslen som används mera i spetslastanläggningar till följd av pelletsfabriken naturgas i Högsbo och Rosenlunds Kraftvärmeverk, el i värmepumpar vid Rya reningsverk, pellets vid Rya HVC och anläggningar eldade med bioolja. Hur mycket de ökar varierar med val av tork och produktionsnivå i pelletsfabriken. Eldning med naturgas i Rosenlund och Högsbos kraftvärmeverk står för ungefär hälften av ökningen. Förändrad drifttid för spetslastanläggningar ger en påverkan på miljö, ekonomiska resultat och elproduktion. Denna påverkan behandlas nedan under respektive avsnitt.

## 6.2 Pelletsproduktion

I Tabell 4 redovisas drifttid och pelletsproduktion för olika produktionskapaciteter, ångtryck och val av torksystem. Längst drifttid och därmed högst årsproduktion fås för alternativ 1A och 2A, eftersom dessa scenarier kräver störst mängd avtappad ånga. Vid avtappning av ånga ökar värmelasten och kraftvärmeverket blir lönsamt att köra ett större antal timmar, drifttiden för Rya KVV blir längre och därmed också drifttiden för pelletsfabriken. Variationen i drifttid mellan de olika alternativen är liten, samtliga ligger mellan 4 470 och 4 586 timmar.

**Tabell 4 Årsproduktion av pellets för de olika scenarierna**

Alternativ	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Ångtryck [bar]	20	20	20	20	15	15	15	15
Produktionsvolym [ton/h]	18	18	9	9	18	18	9	9
Torksystem (se 5.2.2 för beskrivning av systemen)	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork	Förtork, ångtork och kondens-turbin	Förtork och ångtork
Ångflöde till tork [kg/s]	4,11	3,14	2,05	1,57	4,14	3,19	2,07	1,59
Årsproduktion pellets [ton]	82 600	81 800	40 400	40 000	82 600	81 900	40 400	40 200

För att producera pelletsen går det, förutom råvara, även åt el och naturgas, se Tabell 5. Råvarutillförsel har beräknats utifrån driftstid och ingående råvara per timme. Elkonsumtion har beräknats utifrån installerade effekt vid pelletsfabriken gånger driftstiden. Installerad effekt för torken är enligt uppgifter från tillverkare, övriga elkonsumtion är baserad på rapporten ”En internationell jämförelse av produktionskostnader vid pelletstillverkning” [37] och har skalats om till aktuell produktionskapacitet. Naturgasförbrukning i Rya KVV till följd av energikombinatet baseras på simuleringar i Martes. Mängd råvara och el är proportionerligt mot produktion av pellets varför 1A och 2A kräver störst råvaru- och eltillförsel. Naturgas beror förutom på mängd producerad pellets även på tryck på ånga. Vid ett lägre tryck på ångan krävs mer ånga för att torka flisen och därmed krävs också mera naturgas

**Tabell 5 Råvaru- och bränsletillförsel**

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Råvara [ton/år]	148 600	147 200	72 800	72 400	148 600	147 400	72 800	72 400
El [GWh/år]	10,3	10,2	5,0	5,0	10,3	10,2	5,0	5,0
Naturgas [GWh/år]	55,2	42,7	27,6	21,0	56,4	44,0	28,2	21,6

### 6.3 Elproduktion

Ångdata för inlopp till Rya KVV:s ångturbin samt ny högtrycksturbin och ny kondenssturbin redovisas i Tabell 6. För högtrycksturbin redovisas både alternativet med expansion till 15 bar och expansion till 20 bar. För beräkningar har verkningsgraderna antagits vara konstanta med varierande flöde igenom turbinen.  $\eta_s$  är beräknade värden efter Formel 5, Appendix 3. För nya turbiner antas  $\eta_m=0,98$ , baserat på mekanisk verkningsgrad för Rya KVV [2]. För samtliga turbiner har  $\eta_o * \eta_g$  antagits till 0,95.



**Tabell 6 Ångdata samt verkningsgrader.**

	Tryck in [bar]	Temp. in [°C]	Entalpi in [kJ/kg]	Tryck ut [bar]	Temp. ut [°C]	Entalpi ut [kJ/kg]	$\eta_s$	$\eta_m$	$\eta_o * \eta_g$
Rya KVV:s ångturbin [2]	100	540	3475	0,42	76	2441	0,89	0,98	0,95
Ny HT-turbin, 20 bar [34]	100	530	3450	20	369	3184	0,58	0,98	0,95
Ny HT-turbin, 15 bar [34]	100	530	3450	15	343	3136	0,60	0,98	0,95
Ny kond.turbin i alt 2 [34]	4,6	149	2746	0,1	46	2516	0,40	0,98	0,95

### 6.3.1 Elproduktion i nya turbiner

Då pelletsproduktionen är igång och kraftvärmeverket inte går på full last sker elproduktion i pelletsfabrikens högtrycksturbin samt i kondens turbin i de fall där en sådan finns. Denna elproduktion är en direkt följd av energikombinatet och medför att anläggningen får ett bättre elutbyte i förhållande till fjärrvärme.

Elproduktion har beräknats med Formel 6, Appendix 3, utifrån turbin- och ångdata i Tabell 6. Beräknad elproduktion i pelletsfabrikens högtrycksturbin och eventuell kondens turbin för de olika fallen redovisas i Tabell 7. De alternativ där kondens turbin är inkopplad, 1A, 1C, 2A och 2C har mer än dubbelt så stor elproduktion som de alternativ där ingen kondens turbin finns.

**Tabell 7 Produktion av el i nya turbiner**

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Ökad elproduktion [GWh]	8,6	3,1	4,2	1,5	8,9	3,2	4,3	1,6

Som nämnts i 5.4 har antagandet att all tillförd energi för avtappningsånga sker genom tillsatseldningen gjorts. Detta är en förenkling, vid låglast, då Rya KVV är i drift pga. ökad värmelast från pelletsfabriken, sker tillskottet enbart i gasturbinerna med en ökad elproduktion som följd. Denna elproduktion är ej inkluderad. Förenklingen har gjorts pga. att produktionen på de tre linjerna inte sker linjärt. Hur produktionen sker beror på gas och elpriset, värmebehov samt kostnad för övrig produktion. Rya KVV kan leverera en viss värmemängd med olika drift på gasturbinerna och tillsatseldning. Exempelvis kan en gasturbin köras för full tillsammans med tillsatseldning, eller så kan två gasturbiner vara i drift och ingen tillsatseldning. Värmeproduktionen kan ändå vara densamma för de båda fallen.

### 6.3.2 Förändring i elproduktionen i befintliga anläggningar

Under kalla dagar då Rya KVV normalt går på fullast minskar elproduktion med 1,7–4,8 GWh per år, Tabell 8, på grund av att en del ånga leds till ångtorken i stället för att expandera i kraftvärmeverkets ångturbin. En del av nedgången i elproduktion kompenseras med antagna indata av att kraftvärmeverken Rosenlund och Högsbo ökar sin produktion av både värme och el. Övriga produktionsanläggningar som ökar sin fjärrvärmeproduktion har ingen elproduktion. Elproduktionen i befintliga anläggningar i fjärrvärmesystemet sjunker totalt med 0,7-2,2 GWh, Tabell 8. Förändring i elproduktionen i befintliga anläggningar har simulerats i Martes.

**Tabell 8 Förändring i elproduktion**

	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>1D</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>2D</b>
Förändring i Rya KVV [GWh]	-4,7	-3,5	-2,2	-1,7	-4,8	-3,6	-2,3	-1,8
Förändring i Högsbo och Rosenlund [GWh]	2,5	1,9	1,1	1,0	2,6	1,9	1,2	1,0
Total förändring i elproduktion [GWh]	-2,2	-1,6	-1,1	-0,7	-2,2	-1,7	-1,1	-0,8
Total förändring av elproduktion inkl el i nya turbiner [GWh]	6,5	1,5	3,1	0,8	6,7	1,5	3,2	0,8

Totalt sett stiger elproduktionen i Göteborgs Energis fjärrvärmesystem inklusive pelletsproduktion, till följd av energikombinatet, se Tabell 8, med mellan 0,8-6,7 GWh el per år.

Pelletstillverkning är elintensivt, främst torkens fläktar och pelletering kräver mycket el, se Tabell 5 ovan. I samtliga fall är elkonsumtionen i pelletsfabriken större än ökningen i elproduktion till följd av energikombinatet.

## 6.4 Ekonomiska resultat

### 6.4.1 Investeringskostnad

**Tabell 9 Investeringskostnader**

	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>1D</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>2D</b>
Tork	51	47	34	31	53	49	36	33
Malning	8	8	4	4	8	8	4	4
Pelletering	13	13	7	7	13	13	7	7
Kylning	5	5	3	3	5	5	3	3
Lagring	19	19	9	9	19	19	9	9
Perifer utrustning	9	9	5	5	9	9	5	5
Byggekostnader	22	22	11	11	22	22	11	11
Turbin & generator	12	6	12	6	12	6	12	6
Totalt [Mkr]	140	130	84	76	142	132	86	77

Investeringskostnad för pelletsfabriken har beräknats utifrån standardiserade kostnader [37]. Kostnaderna för investering har skalats till aktuell timproduktion. Investeringskostnaderna har räknats upp med 2,8 % per år från 2002 fram till 2012 då majoriteten av investeringarna beräknas göras. Uppräknningen har gjorts för att kompensera prisökningar till följd av ökad efterfrågan, stålpriser etc. Baserat på uppgift från tillverkare av pelleteringsutrustning [38], har antagandet att priserna har stigit med ca 15 % de senaste fem åren gjorts. Priserna antas stiga procentuellt lika mycket det kommande fem åren. Kostnader för torksystem har erhållits från torkleverantören Exergy Consulting [16] och investeringskostnader för turbiner har erhållits från Siemens [34]. Även dessa investeringskostnader har räknats upp med 2,8 % per år men för fem år från 2007 till 2012. I Tabell 9 redovisas investeringskostnader samt drift och underhållskostnader för de olika alternativen. Posten perifer utrustning innefattar exempelvis kostnader för motorer till skruvmatare, fläktar och brandvarningssystem. Den enskilt största posten är kostnader för torksystem som är ungefär en tredjedel av den totala investeringskostnaden. Störst investeringskostnader har de fall där kondensatorn är installerad. I dessa fall är även torksystemet dyrare då de förutom bäddtork och ångtork även

har en ångomformare. I de fall där kondensatorn saknas är bäddtorken större vilket kompenserar en del av kostnaden för ångomformaren.

#### 6.4.2 Rörliga kostnader

Rörliga kostnader för nya delar i kombinatet redovisas i Tabell 10. Siffrorna gäller för 2012 års bränslepriser [12]. Drift och underhållskostnader är baserade på standardiserade [37] siffror och har skalats om till aktuell drifttid. Posten "Övriga kostnader" innefattar exempelvis försäkringar och administrativa kostnader. Råvarukostnaden är den i särklass största kostnaden, ca 2/3 av de rörliga kostnaderna. Även naturgaskostnaderna är en stor post. Alternativ 1A och alternativ 2A har de största kostnaderna, men de är även de alternativ som har den största pelletsproduktionen. Posten "Spetslastanl." innefattar kostnad för ökad produktion i spetslastanläggningar. Denna kostnad har tagits fram med simuleringar i Martes för 1A, 1B, 2A och 2C. För övriga produktionsfall med 9 ton pellets per timme har kostnaden antagits till halva kostnaden för motsvarande alternativ med produktionskapaciteten 18 ton/h. Lägst rörlig kostnad per ton producerad pellets har alternativ 1B och 2B, 1 474 respektive 1 479 kr/ton pellets, och störst rörlig kostnad per ton pellets har alternativ 2C med 1 622 kr/ton pellets.

Tabell 10 Rörliga kostnader för 2012

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Råvarukostnad	89	88	44	43	89	88	44	43
Naturgaskostnad	17	13	8	6	18	13	9	7
Elkostnader	9	8	4	4	9	8	4	4
Personalkostnader	7	7	7	7	7	7	7	7
Drift och under håll	3	3	1	1	3	3	1	1
Övriga kostnader	1	1	0	0	1	1	0	0
Spetslastanl.	1	1	1	0	1	1	1	0
Totalt [Mkr]	126	121	65	63	127	121	66	63
kr / ton pellets	1 529	1 474	1 617	1 561	1 534	1 479	1 622	1 566

#### 6.4.3 Intäkter

Förändring av intäkter till följd av integreringen är pelletsförsäljning och elförsäljning, Tabell 11. Störst intäkter har alternativ 1A och alternativ 1B, det är även dessa scenarier som har den största intäkten per producerad mängd pellets.

Tabell 11 Intäkter för 2012

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Pelletsförsäljning	138	138	68	67	138	137	68	67
Elförsäljning	4	2	2	1	4	2	2	1
Totalt [Mkr]	143	140	70	68	143	139	70	68

#### 6.4.4 Lönsamhetskalkyl

Energikombinatets lönsamhet har beräknats med nuvärdesmetoden, Formel 4. Ackumulerat nuvärde är föregående års ackumulerade nuvärde plus nuvärdet för aktuellt år. Första året är det ackumulerade nuvärdet lika med nuvärdet.

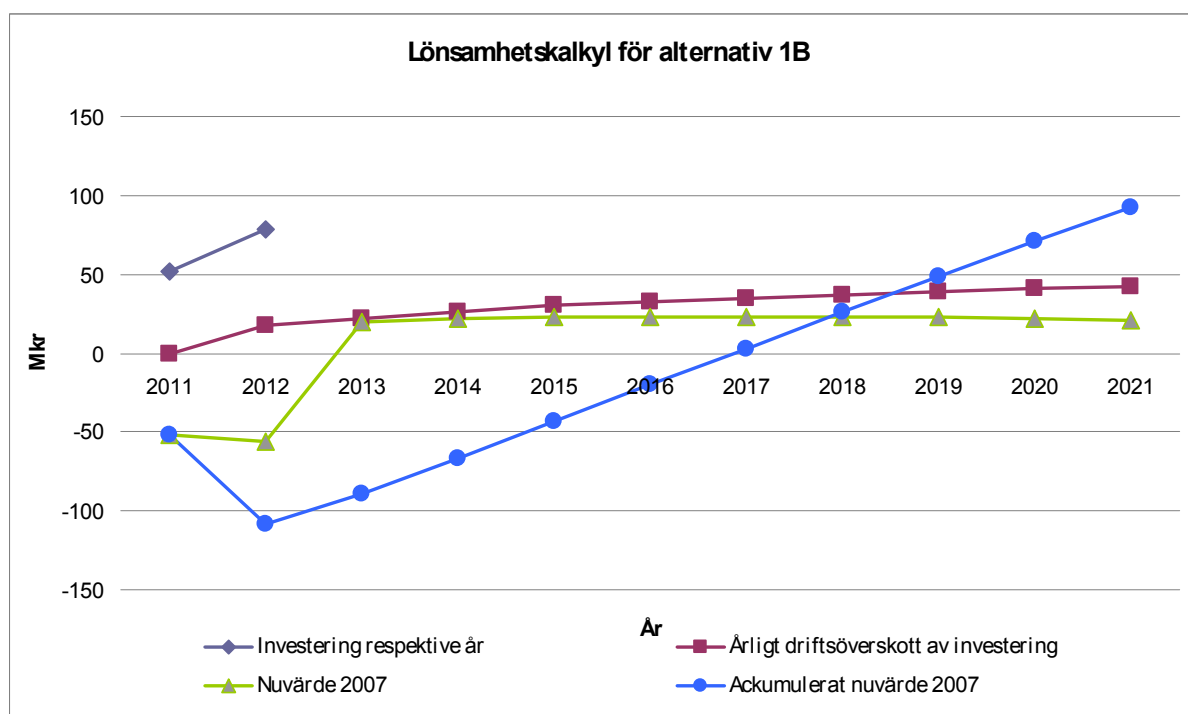
#### Formel 4 Nuvärdesmetoden

$$Nuvärde = \frac{\text{årligt driftöverskott}}{(1+r)^n}$$

$r = \text{ränta}$

$n = \text{år}$

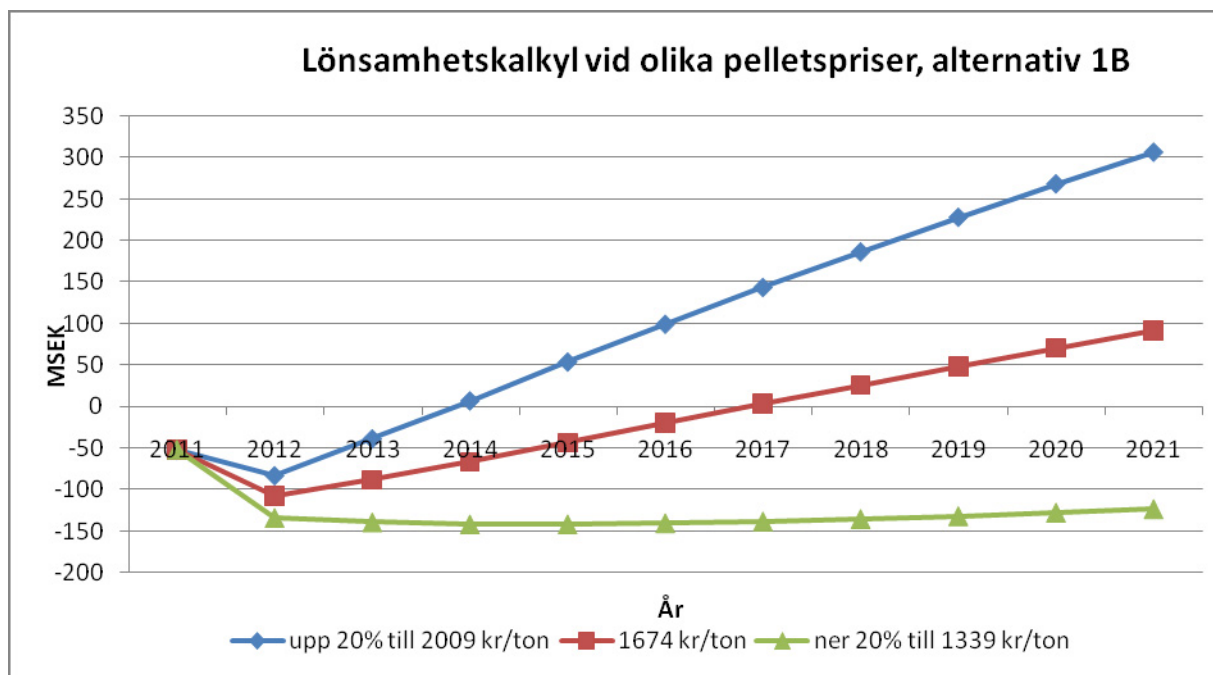
Lönsamhetskriteriet 10 år och 7 % ränta har använts. Det ackumulerade nuvärdet ska med andra ord vara större än, eller lika med noll, efter 10 år. Bränslepriser för respektive år används enligt avsnitt 5.5. 40 % av investeringen antas genomföras 2011, resterande 60 % antas investeras 2012. Lönsamhetskalkylen, Figur 14, visar att energikombinatet med gjorda antagande och förutsättningar, klarar lönsamhetskravet. Energiförbrukningen blir lönsamt redan efter sex år.



Figur 14 Lönsamhetskalkyl för alternativ 1B

#### Känslighetsanalyser

Energiförbrukningens intäkt kommer huvudsakligen från pelletsförsäljningen, varför kombinatets lönsamhetskalkyl är mycket känsligt för förändringar i pelletspriset. I Figur 15 redovisas det ackumulerade nuvärdet för tre olika pelletspriser: 1 674 kr/ton för år 2011, enligt VPP 2008 samt en minskning med 20 % av pelletspriset och en ökning med 20 %. Pelletspriserna gäller för 2012, för efterföljande år antas pelletspriset öka samma procentuella ökning som i VPP 2008, se Figur 12. Grundalternativet med ett pelletspris på 1 674 kr/ton pellets ger lönsamhet efter sex år. En 20 % -ig ökning av pelletspriset ger lönsamhet redan efter tre års drift av energikombinatet. Med en 20 % -ig minskning av pelletspriset klarar energikombinatet inte lönsamhetskravet.



**Figur 15 Ackumulerat nuvärde för tre olika pelletspriser**

Energikombinatets känslighet mot variationer i råvarupris, naturgaspris, elpris samt investeringskostnad har också undersökts. För att kunna analysera och jämföra känsligheten i variationer för de olika parametrarna har det pelletspris som krävs för att klara lönsamhetskravet för energikombinatet använts som jämförelsetal, dvs. det pelletspris som krävs 2012 för att det ackumulerade nuvärdet ska vara 0 år 2021 med en kalkylränta på 7 %. Pelletpriset antas ha samma procentuella utveckling som i VPP 2008. Pris på råvara, naturgas, el och investeringskostnad har ökat respektive minskat med 20 %. I Tabell 12 nedan redovisas känslighetsanalys för alternativ 1A, 1B, 2A och 2B. Känslighetsanalyser för alternativen med lägre produktionskapacitet, 1C, 1D, 2C och 2D, återfinns i Appendix 4. I Tabell 12 redovisas den procentuella förändringen av pelletspriset för att lönsamhetskriteriet ska uppfyllas. Ur Tabell 12 utläses att energikombinatet är känsligast för förändringar i råvarukostnad, medan en variation i naturgaspriset eller investeringskostnad inte är lika kritiskt för kombinatets lönsamhet. Minst påverkan på energikombinatets lönsamhet har elpriset.

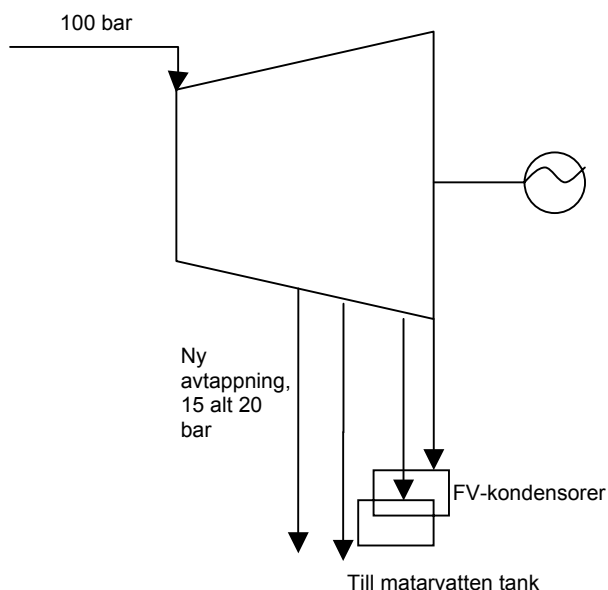
**Tabell 12 Känslighetsanalys med variation i bränslepriser och investeringskostnad**

	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>
Pelletspris 2012 för lönsamhet	1561	1531	1568	1538
Procentuell förändring av pelletspris för lönsamhet	-11,9%	-14,2%	-11,7%	-13,0
Råvaror 20 % dyrare	-11,3%	-11,5%	-11,3%	-11,5%
Råvaror 20 % billigare	14,6%	14,9%	14,5%	14,9%
Naturgas 20 % dyrare	-2,2%	-1,7%	-2,2%	-1,7%
Naturgas 20 % billigare	2,3%	1,8%	2,3%	1,8%
Elpris 20 % dyrare	-0,7%	-0,8%	-0,7%	-0,8%
Elpris 20 % billigare	0,7%	0,8%	0,7%	0,8%
Investeringskostnad, 20 % högre	-2,6%	-2,5%	-2,6%	-2,5%
Investeringskostnad, 20 % lägre	2,7%	2,6%	2,8%	2,7%

## **6.5 Alternativa tekniska lösningar**

### **6.5.1 Avtappning från Ryas Ångturbin**

Utifrån Tabell 6 utläses att Rya KVV:s ångturbin har en betydligt bättre isentropisk verkningsgrad än de båda nya högtrycksturbinerna. Det skulle därför vara en stor fördel om ånga kunde avtappas från Rya KVV:s ångturbin, Figur 16, i stället för att avledas innan turbinen och därefter expandera i en ny högtrycksturbin med lägre isentropisk verkningsgraden. Tillverkaren av Rya KVV:s ångturbin ställer sig dock tveksamma till om det är möjligt att göra en ny avtappning vid 15 alt. 20 bar, [34]. Inne i turbinen upptas platsen av turbinsteg med ledskenor och löpskovlar. Det är med andra ord inte säkert att det skulle vara möjligt att hitta ett ställe där det går att ”borra ett hål” och göra en avtappning vid ett lämpligt ångtryck. Skulle det vara möjligt att göra en avtappning vid lämpligt tryck skulle även stora munstycken behöva svetsas på översidan av turbinhuset. Enligt [34] är det tveksamt om turbinhuset har en tillräckligt hög hållfasthet, dessutom skulle själva svetsningen av munstycke vid avtappningen medföra att överdelen på turbinhuset skulle behöva hållas varm. Representant för turbintillverkaren ställer sig med andra ord mycket tveksam till genomförbarheten tekniskt men framförallt ekonomiskt för en ny avtappning på den befintliga turbinen. [34]



**Figur 16 Principskiss för Rya KVV:s ångturbin med avtappning**

Då skillnaden i verkningsgrad är stor mellan Rya KVV:s ångturbin och de nya ångturbinerna har trots allt en alternativ beräkning genomförts då ånga antas tappas av vid önskat tryck, mätas och leds direkt till torken utan några nya högtrycksturbiner. Skillnaden i elproduktion om avtappning görs innan eller direkt från Rya KVV:s ångturbin, är mellan 1,6 och 3,1 GWh för 18 ton pellets/h och 0,8-1,6 GWh för 9 ton pellets/h. Störst skillnad syns för trycket 15 bar. Detta eftersom ångan då expanderar längre i ångturbinen och den högre verkningsgraden i Rya KVV:s ångturbin, utnyttjas i en högre grad. Skillnaden är avtagande för alternativen A-D, detta beror på att alternativ A har högst ångflöde till torken och alternativ D har lägst ångflöde.

Den ökade elproduktionen påverkar lönsamhetskalkylen för energikombinatet då elintäkterna ökar. I Tabell 13 redovisas de pelletspriser som krävs för att energikombinatet ska klara lönsamhetskravet med avtappning från Rya KVV:s ångturbin, samt procentuell förändring jämfört med tillverkning enligt grundalternativet i avsnitt 5.2. Liksom för elproduktionen så är skillnaden störst för alternativ 2 med ångtrycket 15 bar. Inverkan blir mindre för alternativen med en pelletsproduktion på 9 ton pellets/h, detta eftersom investeringskostnaden där är högre.

**Tabell 13 Pelletspris för att klara lönsamhetskravet med avtappning direkt från Rya KVV:s ångturbin**

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Pelletspris [kr/ton]	1549	1521	1674	1635	1549	1524	1676	1639
Procentuell förändring [%]	- 0,8	- 0,7	- 0,8	- 0,6	- 1,2	- 0,9	- 1,2	- 0,9

### 6.5.2 Överkapacitet på Rya KVV

Under arbetet har det framkommit att det eventuellt finns en överkapacitet i Rya KVV:s tillsatseldning [34,39]. Med överkapacitet menas att mera naturgas skulle kunna förbrännas i tillsatseldningen. Erfarenhetsmässigt så går det att på de flesta pannor att öka effekten med ca 10 % utöver den beställda/nominella effekten efter en tid. [34] Här rör det sig om tillsatseldning av rökgaser och det som är begränsande för förbränningen är tillgång på syre i rökgaserna. Har allt syre i rökgaserna deltagit i förbränningsreaktioner så går det inte att öka förbränningen med tillsats av mera naturgas. Svar på om all syre förbränns kan ej ges direkt



utan kräver vidare efterforskningar. [34] Förutom att utreda syretillgången i rökgaserna så behövs ett nytt tillstånd för Rya KVV om utnyttjande av överkapacitet ska kunna genomföras. I dag har Rya KVV tillstånd för förbränning av 600 MW. [39]

I dagsläget sker förbränning av max 80 MW naturgas i tillsatseldning per linje, totalt 240 MW. Finns det en överkapacitet på 10 % kan ytterligare 24 MW naturgas förbrännas i tillsatseldningen. I energikombinatet tillförs som mest bränsleeffekten 12,3 MW.

Antas att överkapacitet är möjligt skulle Rya KVV klara av att leverera full värmeeffekt till fjärrvärmenätet samtidigt som avtappning till pelletsfabriken görs. Därmed skulle kostnaden för dyr spetslastproduktion under kalla dagar undvikas. Detta rör sig om en kostnad på 0,9-1,4 Mkr per år för en produktion av 18 ton pellets per år. Detta medför att energikombinatet blir lönsamt med lägre pelletspriser, se Tabell 14.

**Tabell 14 Pelletspris för att klara lönsamhetskravet med överkapacitet i Rya KVV:s överkapacitet**

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
Pelletspris [kr/ton]	1546	1521	1671	1635	1553	1528	1679	1643
Procentuell förändring av priset [%]	-1,0%	-0,7%	-0,9%	-0,5%	-1,0%	-0,7%	-0,9%	-0,6%

### 6.5.3 Återföring till matarvattentank

Ett alternativ till energikombinatets kondensator turbin kan vara att leda den genererade lågtrycksångan till matarvattentanken där förvärmning sker. Därigenom skulle ingen avtappning från ångturbin till matarvattentank behövas. Detta ångflöde skulle då i stället ha expanderat i kraftvärmeverkets ångturbin. En fördel med denna lösning är att kraftvärmeverkets ångturbin har en högre verkningsgrad än den nya lågtrycksturbinen, se Tabell 6, samt att investeringen för lågtrycksturbinen då kan undvikas. Vid maxlast på kraftvärmeverket är ångflödet från turbinavtappningen till matarvattenförvärmning 2,8 kg/s och trycket 3 bar. Vid lägsta last är däremot flödet betydligt lägre. Vid höglast på kraftvärmeverket skulle all ånga från ångomformaren kunna sköta matarvattenförvärmningen. Vid driftfall med lägre last på Rya KVV, så skulle däremot flödet av genererad ånga bli betydligt större än vad som behövs till matarvattentanken. Möjligheter att optimera matarvattenförvärmningen, flöde till matarvattenförvärmning och genererad ånga har inte undersökts vidare.

### 6.5.4 Integrering av ett biokraftvärmeverk med en pelletsfabrik

Då studien av energikombinat med Rya KVV och pelletsfabrik har visat att en stor kostnad för energikombinatet är naturgas för ånggenerering, samtidigt som användandet av naturgas medför en ökad koldioxidpåverkan, har integrering av ett biobränsleeldat kraftvärmeverk och pelletsfabrik studerats överskådligt.

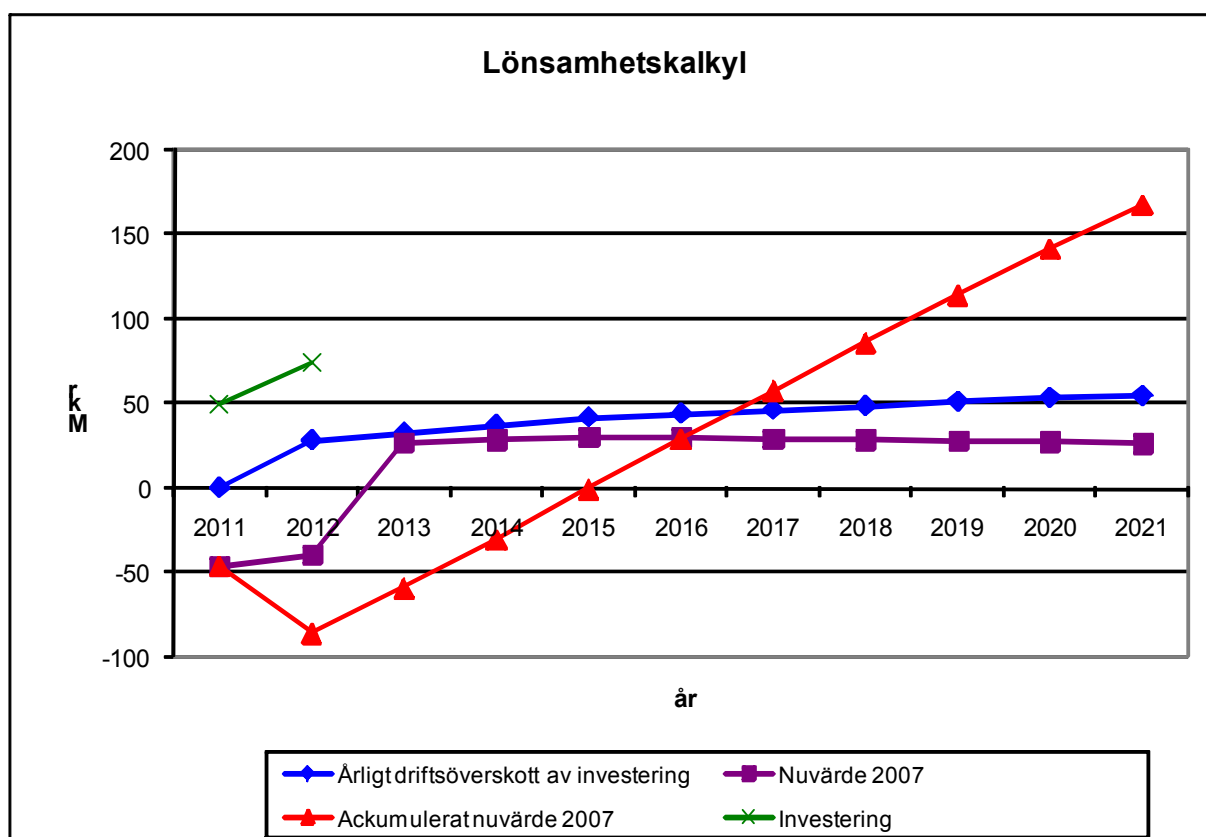
Det biobränsleeldade kraftvärmeverkets effekt antas vara 86 MW<sub>värme</sub>, 8,6 MW<sub>ånga</sub> och 39,8 MW<sub>el</sub>. Då ett Bio KVV antas byggas som ett energikombinat från början och dimensioneras därefter antas inte spetslastanläggningar behöva öka sin produktion till följd av energikombinat. Ångdata vid ångturbinens inlopp antas vara 120 bar och 540°C enligt kommersiell teknik för nya anläggningar [40]. Eftersom det inte är ett befintligt kraftvärmeverk kan turbinen konstrueras med avtappningar vid önskat tryck. Den avtappade ångan från kraftvärmeverket antas ha trycket 15 bar och temperaturen 290°C, baserat på Rya KVV:s ångturbin. Drifttid för Bio KVV har antagits till 5 300 timmar. Pelletsfabriken antas ha en tillgänglighet på 91 % vilket ger en drifttid på 4 508 timmar för pelletsfabriken och en produktion på 86 000 ton pellets per år. Råvaran antas vara rundved som sönderdelas på



terminal, transporteras till fabriken där den torkas, mals, pelleteras och kyls. I Tabell 15 redovisas investeringskostnader, rörliga kostnader, intäkter och pelletspris för lönsamhet efter 10 år med 7 % kalkylränta. Investeringskostnader för ett Bio KVV har inte beräknats separat utan ett tänkt Bio KVV på 86 MW<sub>värme</sub> har valts i Martes. Jämförelse av årligt driftöverskott med och utan det tänkta kraftvärmeverket har gjorts. Ökade investeringskostnader för Bio KVV till följd av förutom 86 MW<sub>värme</sub>, även 8,6 MW<sub>ånga</sub>, är inte inkluderade.

Tabell 15

Producerad pellets, ton/år	86 000
Elproduktion, GWh/år	5,95
Investeringskostnad, Mkr	126
Rörliga kostnader, Mkr	122
Intäkter, Mkr	150



Figur 17 Lönsamhetskalkyl för integrering av ett Bio kraftvärmeverk och en pelletsfabrik

I Figur 17 redovisas energikombinatets lönsamhetskalkyl. Enligt de prisprognoser som gäller för 2008 är pelletspriset 2012, 1 674kr/ton. För att ett energikombinat med Bio KVV ska klara lönsamhetskravet krävs ett pelletspris 2012 på minst 1 433 kr/ton pellets. Pelletspriset antas sedan stiga enligt samma procentuella utveckling som i Göteborg Energis bränsleprognos 2008, avsnitt 5.5.

Under förutsättning att ett biokraftvärmeverk kan byggas på en tomt som är tillräckligt stor så kan rundveden sönderdelas på plats och eventuellt även avbarkas. Om råvaran avbarkas kan en pellets av högre kvalitet (lägre askhalt) tillverkas. Barken, samt finfraktion som ej är pelletterbar, förbränns i kraftvärmeverket. Flisas rundveden på plats vid pelletsfabriken

undviks kostnader för omlastning vid terminal. Ökade kostnader för barkning samt minskade kostnader för omlastning är inte inkluderade i kalkylen ovan.

## 6.6 Emissioner till luft

Råvaran antas komma till anläggningen som mikroflis, 6 mm, och tippas i en tippficka. Härifrån transporteras råvaran på ett transportband till torken. Transporter inom anläggningen sköts därigenom av transportband och inga emissioner antas fås därifrån. Emissioner från lossning av inkommande råvara bortses ifrån. Vissa dammproblem kan tänkas uppstå vid exempelvis tippning. Eftersom torkning sker i ett slutet system med begränsade luftflöden som sedan kondenseras så begränsas emissioner från torkanläggningen. De emissioner som ändå förekommer är på grund av läckage av ånga från torken.

Från bäddtorken blir det en del lukt men inte mera än i skogen en varm sommardag. Detta eftersom bara ämnen som förångas vid 30 grader, förångas i bäddtorken då bränslet ut ur fortfarande är fuktigt. [16]

En viss förändring i emissioner kommer även att ske från förbränning av lättflyktiga extraktivämnena i tillsatseldningen. Storlek på dessa emissioner har inte undersökts men då de härrör från biobränsle innebär det inget tillskott av koldioxidutsläpp.

Genom att Rya KVV i energikombinatet förbränner en större mängd naturgas ökar emissionerna från Rya KVV, dessa emissioner har beräknats utifrån utsläppsnivåer för Rya KVV i Martes. Ökad drifttid på spetslastanläggningar innebär ökade emissioner även från dessa, genom simuleringar i Martes har storlek på dessa emissioner tagits fram. De totala förändringarna i emissioner redovisas i Tabell 16. Procentuellt sett för hela fjärrvärmesystemet är förändringen liten, 0,6-1,7 % ökning av NO<sub>x</sub> emissionerna, 0,1-0,4 % ökning av svavelemissionerna och 0,7-2,0 % ökning av CO<sub>2</sub>-emissioner.

**Tabell 16 Förändring i emissioner**

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
NO <sub>x</sub> [ton]	3,01	2,29	1,41	1,14	3,07	2,29	1,45	1,19
Svavel [ton]	0,09	0,07	0,04	0,03	0,09	0,07	0,04	0,03
CO <sub>2</sub> [kton]	9,67	7,30	4,70	3,61	9,87	7,49	4,78	3,70

## 6.7 Emissioner till vatten

Kondensatet från torkanläggningen är förorenat med förångade extraktivämnena från torkgodset. Kondensat från torkar av samma typ sändes antingen direkt till recipient eller till reningsverk [16]. I Appendix 5 redovisas analys av kondensat vid en liknande torkanläggning för torkning av flis vid bioenergikombinat i Köge, Danmark [16].

Utifrån Appendix 5, framkom vid kontakt med aktuellt reningsverk att pH måste justeras, samt att halten fenoler och Microtox är hög. Detta kan innebära problem för reningsverkets biologiska rening som inte är anpassat efter torkkondensatet. En första bedömning är att övriga ämnen inte borde vara några problem. Vidare och mera detaljerade analyser måste genomföras innan en bedömning kan göras. [41]

Vid kontakt med Miljöskyddsavdelningen vid Göteborg Stad konstaterades att en provning av utsläpp till recipienten Göta Älv i samband med tillståndsansökan måste göras. Direkt framkom dock att utifrån Appendix 5 måste pH justeras, samt att TOC och COD är höga.

Susp.-halten borde inte vara något problem då aktuell recipient är Göta Älv och inte ett litet vattendrag.[42]

Enligt [43] kan utsläpp av orenat kondensat från biobränsletorkar, till recipient orsaka syrebrist samt vara giftigt för organismer i vattnet. Kondensat renat med biologisk rening däremot skulle troligtvis kunna släppas till de flesta recipienter och absolut till kommunalt reningsverk.[43] Vidare undersökning av reningstekniker, samt mera detaljerade analyser av kondensatet behöver göras innan val av behandling av kondensatet görs.

## **6.8 Buller**

Som tidigare nämnts är de delprocesser som genererar mest buller hammarkvarnar, fläktar och pelletspressar. Dessa ligger på ca 90 dB(A). Tillverkaren Bühler, säljer en hammarkvarn med lägre bullernivå än normalt, denna ligger på 83 dB(A) [38]. Olika åtgärder kan göras för att minska buller, bygga in delprocesser. Lösningar där transportörer har grävts ner och lagts i kulvertar har exempelvis gjorts [38]. Bühler har byggt en pelletsfabrik där buller på 700 m avstånd från fabriken ligger på 40 dB(A).

Åtgärder som kan vidtas för att minska bullerpåverkan är av två karaktärer, absorberande och reducerande åtgärder. Med absorberande åtgärder menas val av material i väggar och tak som minskar eko och reflektion av ljud. Reducerande åtgärder är exempelvis att bygga in processer med ett högt buller. Åtgärder som skulle kunna vara aktuella för att minska påverkan från pelletsfabriken är att bygga in pelletspressar och hammarkvarnar och isolera eventuella transportrör. Fläktar bör försöka samlas på samma ställe och byggas in. Luftutsläpp, och därmed bullerkälla, kan riktas uppåt eller åt riktningar mindre känsligt för buller. Genom att bygga in exempelvis en pelletspress i en enkel inbyggnad kan dess buller minska med 20-25dB. En sådan inbyggnad kostar i storleksordningen 50-60 000 kr för en inbyggnad på 3\*3\*3 m. [44] Det borde det inte vara några problem med att klara bullergränser på 40-45dB utomhus. För bästa resultat bör planering av åtgärder för att minska buller inledas redan i inledande planering av anläggningen. [44]

## **6.9 Transporter av råvaror och färdig pellets**

Inom examensarbetet har inte frågan vilken transport av råvara som är mest lämpad utretts. Detta är en fråga som till stor del beror på varifrån råvaran kommer. Den aktuella tomten ligger fördelaktigt till eftersom leverans med båt, tåg och lastbil är möjliga. Däremot så måste hänsyn tas till omgivning. Tomten är centralt belägen i Göteborg, leveranser av råvara bör därför ske dagtid på vardagar för minsta möjliga påverkan. I Tabell 17 redovisas en sammanställning av uppskattat behov av leveranser med bil och båt. För bil, lastbil med släp som tar 60 ton varav lasten kan väga 40 ton, levererar 27,2 lastbilar per dygn, fem dagar i veckan. Sker leveranserna kl. 07-19 blir det 2,3 bilar per timme. Kommer bilarna mellan kl. 07-20 så räcker det med två bilar per timme. Om leverans av råvara sker med båt så finns det flera olika storlekar på båtar beroende av varifrån de kommer. En mindre storlek tar 15 000 m<sup>3</sup>, ca 5 000 ton TS [36], det skulle betyda drygt en båt i veckan under driftsäsong, eller en båt varje 154:e driftstimme.

Förutom transport av inkommande råvara till tomten är det även transport av pellets från fabriken, Tabell 17. Varje vardag behövs 15,1 lastbilstransporter, om samma lastbil som ovan. Detta innebär om transport sker 07-19, 1,25 bilar i timmen. Transport av båt som rymmer 15 000 m<sup>3</sup> skulle innebära en båt var 21-27 dag (beroende på pelletsens densitet). Detta skulle kräva ett stort pelletslager, och anses därför inte vara aktuellt.

Sker all transport med lastbil kommer 3,5 lastbilar/h att trafikera fabriken vardagar 07-19. Anländer råvaran med båt kommer drygt en båt i veckan, samt 1,25 lastbilar/h vardagar 07-19, att trafikera fabriken.

**Tabell 17 Leveranser till och från fabriken**

	<b>18 ton pellets/h</b>	<b>9 ton pellets/h</b>
Ton råvara 50 % fukthalt per timme	32,4	16,2
Råvara, antal lastbilar/dygn, fem dagar/vecka	27,2	13,6
Råvara, antal båtar/vecka	1,09	0,54
Pellets, antal lastbilar/dygn, fem dagar/vecka	15,1	7,6
Pellets, antal båtar/vecka	0,26-0,33	0,13-0,17

## 6.10 Uppskattning av ytbehov

Den tänkta byggnadstomten för pelletsfabriken har en area på ca 22 000 m<sup>2</sup>[2].

Råvaran tippas i tippfickor och transporteras till råvarulager av transportörer. Råvarulager antas vara två stycken silos om vardera 10 000 m<sup>3</sup>, ytterdiameter antas vara 25 m och höjd 25 m. Dessa silors antas placeras med 10 m mellanrum, råvarulagret upptar därmed en yta av 60\*25m = 1 500m<sup>2</sup>. Torksystemet upptar en yta av ca 140-180 m<sup>2</sup> beroende på vilket torksystem och vilket ångtryck som väljs. [16]. Enligt uppgift från Bühler kan en pelletsfabrik för 16 ton pellets/h uppskattas uppta en yta på ca 200 m<sup>2</sup>, 10\*20 m och 17 m hög, för malning efter tork, pelletering och kylning [38]. För 18 ton pellets/h behövs ytterligare en press och anläggningen antas därför uppta ca 250 m<sup>2</sup>. Färdig pellets transporteras efter kylning till pelletssilos för lagring innan transport till kund. Dessa silors antas rymma 4 000 m<sup>3</sup>, vardera, med yttermått 10 m i diameter och 17m hög. Färdigvarulager samt lastning till bil antas uppta en yta av 15\*30m = 450m<sup>2</sup>. Om transport av färdig pellets sker med båt behövs ett pelletslager som är minst dubbelt så stort, se avsnitt 6.9. Utöver dessa byggnader behövs ytor för vägning av inkommande råvara, matarfickor för inkommande bränsle, turbinhall för kondensator, kontrollrum och kontor. Dessa funktioner antas inte ta någon större yta i anspråk.

Baserat på ovanstående uppgifter, med viss reservation för eventuell reningsanläggning av kondensat, bedöms den tänkta tomtens yta vara tillräcklig.

## 7 Slutsatser

Det finns goda tekniska möjligheter att integrera en pelletsfabrik med ett befintligt kraftvärmeverk. Lönsamhetskalkylen visar att energikombinatet har goda förutsättningar att bli lönsamt, men att det är mycket känsligt för variationer i pelletspriset. Min rekommendation är därför att Göteborg Energi fortsätter att utreda möjligheten till ett energikombinat med pelletstillverkning.

Kan transporter till och från fabriken lösas, samtidigt som en eventuell reningsanläggning inte bidrar till att ytbehovet för anläggningen blir för stort, bör en större pelletsfabrik utredas för att erhålla större integrationsfördelar med Rya KVV. Vid en större pelletsfabrik kan

prioritering av kraftvärmeproduktion framför pelletsproduktion vara ett alternativ under kalla dagar.

Som visat i känslighetsanalysen är energikombinatet mycket känsligt för variationer i pelletspriset. För fortsatt arbete är det därför viktigt att genomföra noggranna analyser av pelletsprisets utveckling. Vidare utredningar behövs även av rening av kondensat och förbränning av okondenserbara extraktivämnena i tillsatseldningen. Liksom för alternativet med överkapacitet i tillsatseldningen behövs tillräcklig syretillgång för att kunna förbränna extraktivämnena i tillsatseldningen. Är syretillgången otillräcklig kan en motsvarande minskning av förbränning av naturgas behöva göras för att ge plats åt förbränning av extraktivämnena.

Det mest lönsamma av de studerade alternativen är alternativ 1B. Det är tydligt att en större produktionsvolym är att föredra framför en mindre, alternativen med 18 ton producerad pellets i timmen är i samtliga fall lönsammare än 9 ton pellets per timma.

Det ångtryck till ångtorken som ger bäst lönsamhet är 20 bar. 15 bars tryck ger högst elproduktion och därmed högst intäkter. Däremot är investeringskostnaderna samt rörliga kostnader högre för en tork med 15 bars ånga.

Alternativet med en kondensturbין ger en högre elproduktion men det är mera ekonomiskt lönsamt att torka till en högre torrhalt i förtorken än att installera en kondensturbין.

Energikombinatet innebär en ökad miljöpåverkan med bl.a. ökade utsläpp av kväveoxider och koldioxid, se avsnitt 6.6. Eftersom biobränslen inte anses bidra till koldioxidutsläpp, är det utsläpp som inte skulle ha funnits om biobränsle hade använts i stället för naturgas för generering av torkenergi. Ur ett livscykelperspektiv bör med andra ord ett annat bränsle än naturgas användas i ett energikombinat för att förädla biobränsle. Lönsamhetskalkylen för ett energikombinat med pelletsfabrik och ett biobränsleeldat kraftvärmeverk pekar på god lönsamhet, bättre än energikombinat med Rya KVV och pelletsfabrik. Livscykelperspektivet och lönsamhetskalkylen pekar tillsammans på att integrering med ett biobränsleeldat kraftvärmeverk bör utredas om ett nytt kraftvärmeverk skulle bli aktuellt för Göteborg Energi.

I avsnitt 6.4.4 presenteras alternativa metoder i tillverkningsprocessen, avtappning från Rya KVV:s ångturbין och överkapacitet i Rya KVV:s tillsatseldning. Nyttjande av Rya KVV:s överkapacitet ger en något större ökning av lönsamhet än avtappning av ånga direkt från Rya KVV:s ångturbין. Dessutom borde nyttjandet av överkapaciteten på Rya KVV inte innebära lika stora investeringskostnader som en ombyggnad för avtappning av Rya KVV:s ångturbין skulle innebära. Då representanter för tillverkaren inte heller tror på att göra en avtappning från Rya KVV, talar både ekonomiska och tekniska resultat för att i första hand utreda Rya KVV:s överkapacitet.

## **8 Diskussion**

Genom att integrera Rya KVV med en pelletsfabrik förväntas utnyttjningstiden och därmed elproduktionen, på kraftvärmeverket att öka. Utnyttjningstiden ökar med 1-4% beroende på alternativ. Att utnyttjningstiden inte blir större beror på storleken av pelletsfabriken i förhållande till kraftvärmeverket. Kraftvärmeverket har en bränsleeffekt på 600 MW. Bränsleeffekt för att generera avtappad ånga till torken är max 12,3 MW. Detta är endast 2 % av kraftvärmeverkets bränsleeffekt. Med en bättre anpassning av energikombinatets ingående delar, med andra ord en större pelletsfabrik till ett så pass stort kraftvärmeverk, så skulle

energikombinatet ha en större inverkan på kraftvärmeverket och dess utnyttjningstid. Med en större pelletsfabrik skulle även drifttiden på kraftvärmeverket kunna ökas. Vid exempelvis en jämförelse med Skellefteå Krafts energikombinat i Hedensbyn [22] är Rya KVV:s termiska effekt nästan sex gånger så stor som Hedensbyns kraftvärmeverks termiska verkningsgrad. Samtidigt är produktionskapaciteten på pellets 1,5 gånger så stor vid Hedensbyn. Pelletsfabriken är där en mycket större del av energikombinatet och inverkar därmed mera på utnyttjandetid, drifttid och elproduktion. Står pelletsfabriken för en större andel av kraftvärmeverkets värmelast kan även vinster göras i form av en jämnare drift av kraftvärmeverket då antalet start och stopp kan minskas. Den tänkta pelletsfabriken är som nämnts ovan liten i förhållande till kraftvärmeverket, men pelletsfabriken i sig är däremot inte liten. Med en produktion på drygt 80 000 ton pellets per år (för produktionskapaciteten 18 ton/h) placeras pelletsproduktionen bland de tio största pelletsfabrikerna i Sverige. [5]

Ett kraftvärmeverk i baslastproduktion har en utnyttjningstid runt 4900 timmar [45]. Eftersom Rya KVV ligger efter spillvärme och värme från avfallsförbränning i produktion, är utnyttjningstiden lägre, ca 3400 timmar. Ju större del av drifttiden som kraftvärmeverket ligger på dellast, desto mer kan en integrering med pelletsproduktion öka utnyttjningstiden samtidigt som inverkan på spetslastanläggningar är mindre. För att minska kostnaderna för dyr spetslastproduktion kan fjärrvärmeproduktion helt eller delvis prioriteras framför pelletsproduktion under årets kallaste dagar. Energikombinatets lönsamhet har därigenom förutsättningar att förbättras ytterligare. Detta är dock en optimeringsfråga eftersom en kortare drifttid för pelletsproduktion innebär en högre andel fasta kostnader per ton producerad pellets. Ju längre drifttid energikombinatet har, desto större borde möjligheterna vara till att prioritera fjärrvärmeproduktion under kortare perioder.

Pelletsfabriken samt energikombinatets inverkan på kraftvärmeverket innebär en nettokonsumtion av el pga. att pelletsproduktion är elintensivt. Skulle elpriserna gå upp minskar därmed lönsamheten något för energikombinatet, se Tabell 12. Samtidigt skulle ett ökat elpris innebära en konkurrensfördel för pellets tillverkad i energikombinat. I jämförelse med pellets tillverkad i en fristående pelletsfabrik som inte har någon elproduktion, är elbehovet mindre för energikombinatet. Ett ökat elpris borde med andra ord även innebära ett ökat pelletspris och ökad lönsamhet för energikombinatet. Vid en höjning av elpriset i förhållande till prognosen, kan även efterfrågan på pellets öka till följd av ett ökat intresse för konvertering från direktverkande och vattenburen elvärme till pellets. Med ett högre elpris kan även konverteringar från värmepumpar till pelletskaminer, eller kombinationer av värmepumpar och pelletskaminer i småhus tänkas öka.

Investeringskostnaden för pelletsfabriken är till ca 60 % baserad på rapporten ”En internationell jämförelse av produktionskostnader” [37]. Denna rapport publicerades 2002 och därefter har en uppräknings med hänsyn till ökade stålpriser och efterfrågan gjorts, och interpolerats till 2012. Uppräknings har gjorts med 2,8 % per år efter diskussion med representant från Bühler [38]. Detta är ett antagande med en viss osäkerhet. Ytterligare investeringskostnader kommer även att tillkomma för rening av kondensat, samt i de fall där kondensatorn finns, anläggning för kylning med vatten från Göta Älv. Eventuellt kan ny utrustning för förbränning av förångade ämnen i tillsatseldningen också behövas. Enligt känslighetsanalysen innebär en 20 % -ig ökning av investeringskostnaden, en ökning av det pelletspris som krävs för lönsamhet med 2,5–2,8 %, Tabell 12. Det är en ökning från 1 531 kr/ton pellets till 1 570 kr/ton pellets, vilket fortfarande är betydligt lägre än prognosen, 1 674 kr/ton pellets.

I analysen har pelletsen antagits vara industripellets som säljs till värmeverk. Enligt Rindi Västerdala [26] har de tillverkat pellets av rundved som har tillräckligt hög kvalitet för att säljas som Grupp 1 – pellets. Detta innebär att pelletsen även kan vara aktuell som bränsle för små pelletsbrännare på villamarknaden. Pellets såld till villor håller ett högre pris än industripellets och skulle kunna öka energikombinatets lönsamhet ytterligare.

## 9 Referenser

1. [www.goteborgenergi.se](http://www.goteborgenergi.se), december 2007
2. Internt material, Göteborg Energi hösten 2007
3. Trad, Sonya, Svensk Fjärrvärme, muntligt januari 2008
4. <http://profu.se/martes.htm>, februari 2008
5. Bioenergitidningen nr 1, 2007
6. Pelletsparmen, [http://www.pellsam.se/pdf\\_files/pelletsparmen.pdf](http://www.pellsam.se/pdf_files/pelletsparmen.pdf), 2002, nedladdad 2007-10-24
7. SCB's energistatistik för småhus 2003
8. SCB's energistatistik för småhus 2006
9. <http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-uppvarmning/Biobransle---ved-och-pellets/Pellets/Bra-att-veta-om->, uppdaterad 2008-01-31, nedladdad 2008-02-23
10. Näslund, Magnus, Teknik och råvaror för ökad produktion av bränslepellets, Energidalen i Sollefteå AB, 2003
11. Strömberg, Birgitta, Bränslehandboken, Värmeforsk rapport nr 911, 2005
12. Värmeproduktionsplan för fjärrvärme i Göteborg 2007-2025, Göteborg Energi, 2007
13. Linde, Björn, Wimmerstedt Roland, Analys av det tekniska och ekonomiska läget för torkning av biobränslen, Värmeforsk rapport nr 637, 1998
14. Johansson *et al*, Torkning av biobränslen med spillvärme, Värmeforsk rapport nr 881, 2004
15. [http://www.torkapparater.se/page\\_tekniker.asp?languageid=1&menuid=2&techid=2](http://www.torkapparater.se/page_tekniker.asp?languageid=1&menuid=2&techid=2), 2007-11-20)
16. Münter, Claes, Exergy Consulting, muntligt samt [http://www.exergy-consult.se/index\\_files/Page648.htm](http://www.exergy-consult.se/index_files/Page648.htm), 2007-11-20
17. Energiforskningen i verkligheten, Statens Energimyndighet, ER 6:2003 ([http://www.energimyndigheten.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ER62003.pdf/\\$FILE/ER62003.pdf?OpenElement](http://www.energimyndigheten.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ER62003.pdf/$FILE/ER62003.pdf?OpenElement))
18. [http://www.torkapparater.se/page\\_tekniker.asp?languageid=1&menuid=2&techid=39](http://www.torkapparater.se/page_tekniker.asp?languageid=1&menuid=2&techid=39), 2008-02-23
19. <http://www.sre.se/torksystem.html>, 2008-03-23
20. <http://www.miljoportalen.se/luft/luftfoerorening/marknaera-ozon-skadar-vaexter>, uppdaterad 2006-08-17, nedladdad
21. Edholm, Anders, LCA-analys; En jämförande studie baserat på ett förädlad och ett oförädlad biobränsle, Värmeforsk rapport nr 713, 2000
22. Lysedal, Per, Skellefteå Kraft, studiebesök Hedensbyn
23. Hallqwist, Allan, Bühler, muntligt, 2007-11-15
24. <http://www.hallandsposten.se/artikel.asp?oid=225541>, uppdaterad 2007-05-05, nedladdad 2007-11-20
25. Taflin, Anders, Härjedalens Miljöbränsle, muntligt, 2007-11-14
26. Gruv, Göran, Rindi Västerdala, muntligt 2007-11-15
27. [http://www.torkapparater.se/pdf/ABT\\_5referenser\\_060601\\_sve.pdf](http://www.torkapparater.se/pdf/ABT_5referenser_060601_sve.pdf), 2007-11-16
28. <http://di.se/Nyheter/?page=/Avdelningar/Artikel.aspx%3FMobious%3DY%26ArticleID%3D2007%255C04%255C20%255C229935%26SectionID%3DEttan%26menusection%3DStartsidan%3BHuvudnyheter>, uppdaterad 2007-04-20, nedladdad 2007-11-19
29. [http://www.nll.se/Extern\\_2spaltmall.aspx?id=65897](http://www.nll.se/Extern_2spaltmall.aspx?id=65897), uppdaterad 2008-01-15, nedladdad 2008-02-23
30. Bioenergitidningen nr 3, 2007
31. Larsson, Sylvia, Gallringsvirke som pelletsråvara, -förädling, förbränning och marknad, BTK Rapport 2004:9



32. <http://www.tmf.se/Templates/News1.aspx?PageID=dc28102e-44ec-48a8-82f8-c726664bba37>, uppdaterad 2007-09-26, nedladdad 2008-01-07
33. Bioenergitidningen nr 2, 2007, <http://www.bioenergitidningen.se/files/resourcesmodule/@random4665514ac1a3d/BIO2-07s28-46.pdf>
34. Mazur, Michael, Siemens, muntligt hösten 2007
35. Fredriksson och Werner, Fjärrvärme, Teori, teknik och funktion, Studentlitteratur, 1993
36. Sandstedt, Karl, Göteborg Energi, muntligt
37. Zackrisson, Mårten, En internationell jämförelse av produktionskostnader vid pelletstillverkning, 2002
38. Hallqwist Allan, Bühler, muntligt, 2007-11-15
39. Hagman, Ulf, Göteborg Energi, hösten 2007
40. Hansson, Helen, *et al*, El från nya anläggningar 2007, Elforsk rapport nr 07:50, 2007
41. Mattson, Jan, GRYAAB, muntligt, januari 2008
42. Gustafsson Pia, Miljöskyddsavdelningen Göteborg Stad, muntligt, januari 2008
43. Ek, Mas, *et al*, Rening och kemisk karakterisering av kondensat och torkgaser från torkning av biobränsle, Värmeforsk rapport nr 683, 2000
44. Thomas Nätterlund, Bullerbekämparen Svenska AB, muntligt, 2007-11-23
45. Larsson, Erik, Svensk Fjärrvärme, muntligt, januari 2008

Källor till appendix:

46. Lundin, Niklas, SCA BioNorr, Härnösand, december 2007
47. Isaksson, Thomas, Lantmännen Agroenergi, muntligt 2007-11-20
48. Isacsson Olle, Laxå Pellets, muntligt, 2007-12-05
49. Strandell, Ulf, Neova, muntligt december 2007
50. Holmberg, Conny, Bioenergi i Luleå, muntligt 2007-12-05
51. Andersson, George, Vida Pellets, muntligt 2007-12-05
52. <http://www.deromebioenergi.se/Templates/News3.aspx?PageID=17f572ff-9a6f-4319-b7c6-e585923b1711>, nedladdad december 2007
53. Ekroth, Ingvar, Granryd Eric, Tillämpad termodynamik, KTH, 1999
54. Alvarez, Henrik, Energitekniker, Studentlitteratur 2003

## Appendix

### Appendix 1, Standard för pellets [6]

# Standardisering av bränsle

Svensk standard för bränslepellets – SS 18 71 20

#### Gruppindelning av bränslepellets

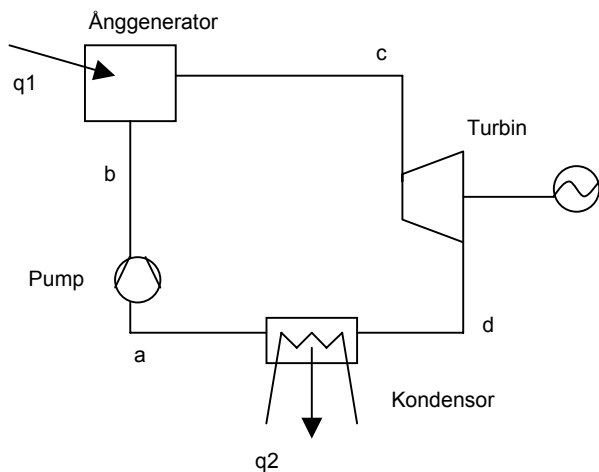
<i>Egenskap</i>	<i>Provningsmetod</i>	<i>Enhet</i>	<i>Grupp 1</i>	<i>Grupp 2</i>	<i>Grupp 3</i>
<i>Dimensioner: diameter, längd i producentens lager</i>	<i>Genom mätning av minst 10 slumpvis uttagna bränslepellets</i>	<i>mm</i>	<i>Anges. Längd max 4 ggr Ø</i>	<i>Anges. Längd max 5 ggr Ø</i>	<i>Anges. Längd max 5 ggr Ø</i>
<i>Skrymdensitet</i>	<i>SS 18 71 78</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>≥ 600</i>	<i>≥ 500</i>	<i>≥ 500</i>
<i>Hållfasthet i producentens lager</i>	<i>SS 18 71 80</i>	<i>Finandel i vikt-% &lt; 3 mm</i>	<i>≤ 0,8</i>	<i>≤ 1,5</i>	<i>≤ 1,5</i>
<i>Effektivt värmevärde (i levererat tillstånd)</i>	<i>SS-ISO 1928</i>	<i>MJ/kg</i>	<i>≥ 16,9</i>	<i>≥ 16,9</i>	<i>≥ 15,1</i>
		<i>kWh/kg</i>	<i>≥ 4,7</i>	<i>≥ 4,7</i>	<i>≥ 4,2</i>
<i>Askhalt</i>	<i>SS 18 71 71</i>	<i>Vikt-% av TS</i>	<i>≤ 0,7</i>	<i>≤ 1,5</i>	<i>≤ 1,5</i>
<i>Total fukthalt (i levererat tillstånd)</i>	<i>SS 18 71 70</i>	<i>Vikt-%</i>	<i>≤ 10</i>	<i>≤ 10</i>	<i>≤ 12</i>
<i>Total svavelhalt</i>	<i>SS 18 77 77</i>	<i>Vikt-% av TS</i>	<i>≤ 0,08</i>	<i>≤ 0,08</i>	<i>anges</i>
<i>Halt tillsatsmedel</i>		<i>Vikt-% av TS</i>	<i>Halt och typ anges</i>		
<i>Klorider</i>	<i>SS 18 71 85</i>	<i>Vikt-% av TS</i>	<i>≤ 0,03</i>	<i>≤ 0,03</i>	<i>anges</i>
<i>Asksmälteförlopp</i>	<i>SS-ISO 540</i>	<i>°C</i>	<i>Initialtemperaturen (IT) anges</i>		

## Appendix 2, Sammanställning av teknik och råvara för ett urval av befintliga pelletsfabriker

	Årsprodukti on [ton/år]	Antal anställda	Råvara	Torkteknik	Spillvärme användning
SCA BioNorr, Härnösand [46]	160 000	26	Sågspån	Flash/strömtork, direkt rökgastork	Spillvärme levereras till fjärrvärmenät Härnösand Energi och Miljö Nej
Agroenergi, Malmback [47]	100 000	15	Såg- och kutterspån	Trumtork, direkt rökgastork	Nej
Laxå Pellets [48]	100 000	25	Sågspån, lite flis	Indirekt rökgastork	Nej
Neova, Vaggeryd [49]	100 000	-	Såg- och kutterspån	Trumtork, direkt rökgastork	Delar av spillvärm används till intern uppvärmning 20 GWh till fjärrvärmenät
Agroenergi, Norberg [47]	96 000	18	Såg- och kutterspån	Trumtork, direkt rökgastork	Nej, rökgaserna är spillvärme från kraftvärmeverk
Bioenergi i Luleå [50]	95 000	17	Sågspån	Trumtork, direkt rökgastork	45 GWh, varav 30 GWh är spillvärme, till fjärrvärmenät
Agroenergi, Ulricehamn [47]	90 000	18	Såg- och kutterspån	Trumtork, direkt rökgastork	Delar av spillvärm används till intern uppvärmning
Neova, Forsnäs [49]	70 000	13	Såg- och kutterspån	Trumtork, direkt rökgastork	Delar av spillvärm används till intern uppvärmning
Neova, Färmlingshem [49]	60 000	-	Såg- och kutterspån	Trumtork, direkt rökgastork	Delar av spillvärm används till intern uppvärmning
Vida Pellets [51]	55 000 (kapacitet 75-80 000)	10 (st i produktion en)	Kutterspån	Torr råvara, ingen tork	Ingen spillvärme
Derome Bioenergi [27, 52]	50 000	-	Sågspån	Indirekta trumtorkar i två steg, rökgaser och hetvatten.	Spillvärm rökgastorken driver hetvattentorken
Agroenergi, Sölvesborg[47]	40 000	13	Kutterspån	Torr råvara, ingen tork	Nej
Neova, Ljusne [49]	40 000	-	Kutterspån	Torr råvara, ingen tork	Nej
Helsing Pellets[48]	40 000	10	Sågspån, lite kutterspån	Indirekt ångtork, 18 bar ånga från panna i närliggande industri.	Inte i dagsläget men planeras under 2009

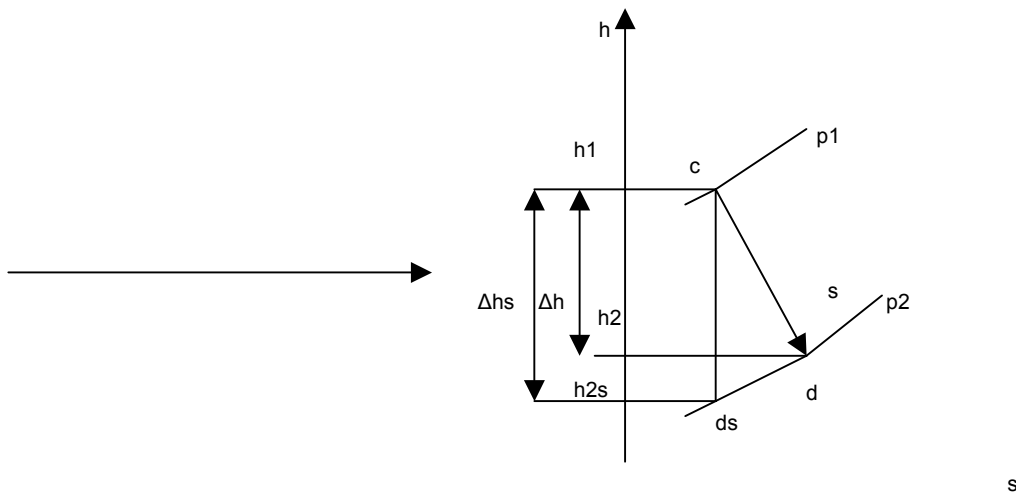
### Appendix 3, Ångkraftprocessen

Den vanligaste processen för elgenerering är ångkraftprocessen, [53] förutom i kraftvärmeverk genererar den även el i exempelvis kärnkraftverk. Vanligaste arbetsmediet i en ångkraftsprocess är vatten. I huvudsak består ångkraftprocessen av fyra delar, matarvattenpump, ånggenerator, turbin och kondensor, se Figur 18. Detta är en förenklad bild, förutom dessa finns t ex ofta en eller flera matarvattenförvärmare. Innan matarvattenpumpen är tillståndet a, med trycket  $p_2$ . Matarvattenpumpen pumpar upp trycket på vattnet till  $p_1$  och tillståndet b. I ånggeneratoren värms, förångas och överhettas arbetsmediet med en värmetillförsel,  $q_1$ , till läge c. I turbinen expanderar ångan och driver en generator för elgenerering. Genom expansionen sänks trycket till  $p_2$  och arbetsmediets tillstånd efter turbinen är d. I kondensorn kondenseras ångan till vätska och avger därigenom värme,  $q_2$ , till fjärrvärmeretur eller sjövattnet. Ångkraftprocessen är nu åter tillbaka till läge a. I en ideal process sker kompression i pumpen och expansion i turbinen i ett isentropiskt förlopp där det inte sker några förluster till följd av värmeutbyte eller friktion. Denna ideala process kallas Rankinecykeln, eller Clausius-Rankinecykeln. [53]



Figur 18 Ångkraftprocessen [53]

I Figur 19 illustreras ångans expansion i en ångturbin. Läge c är innan expansion och läge d är efter expansionen. Expansion längs c-d sker med förluster och är en irreversibel process. Förlusterna sker vid ventilation, hjulfriktion, läckage, utströmning ur turbinen, löphjul samt vid ledskenor. Turbinarbetet längs c-d med, entalpiförändringen  $\Delta h$ , kallas det inre turbinarbetet. Expansion längs c-d<sub>s</sub> är en isentropisk expansion utan förluster och är därmed reversibel process. Turbinarbetet längs c-d<sub>s</sub>, med entalpiförändringen  $\Delta h_s$ , kallas det isentropiska turbinarbetet, och är alltså det ideala turbinarbetet vid en process där inget värmeutbyte sker. [54]



**Figur 19** Adiabats expansion i ångturbin [54]

Ett mått på ångturbinens effektivitet är den isentropiska verkningsgraden,  $\eta_s$ . Isentropisk, eller indikerad termodynamisk, verkningsgrad definieras som det inre turbinarbetet genom det isentropiska turbinarbetet, se Formel 5.

**Formel 5** Isentropisk verkningsgrad

$$\eta_s = \frac{h_1 - h_s}{h_1 - h_{2s}} = \frac{\Delta h}{\Delta h_s}$$

Producerad eleffekt beror inte bara på den isentropiska verkningsgraden, utan är även en funktion av mekanisk verkningsgrad,  $\eta_m$ , elöverföringsverkningsgrad,  $\eta_o$ , och generatorverkningsgrad,  $\eta_g$ . Den mekaniska verkningsgraden beror till största delen av turbinens lagerförluster. Generator och elöverföringsverkningsgrader beror på förluster vid växel och generator. För att beräkna elproduktionen i en ångturbin behöver ångdata vid turbinens inlopp och utlopp, turbinens mekaniska verkningsgrad, kraftöverföringens

verkningsgrad, generatorns verkningsgrad samt massflödet,  $\dot{m}$ , vara kända, se Formel 6. Alternativt till kända utloppsdata är isentropiska verkningsgraden och det isentropiska entalpiskillnaden. [54]

**Formel 6** Eleffekt i ångturbin, [54]

$$P_{el} = \eta_m \times \eta_o \times \eta_g \times \dot{m} \times \Delta h = \eta_s \times \eta_m \times \eta_o \times \eta_g \times \dot{m} \times \Delta h_s$$

## Appendix 4

Känslighetsanalys med variation i bränslepriser och investeringskostnad för alternativen 1C, 1D, 2C och 2D.

	1C	1D	2C	2D
% ökning av pelletspris för lönsamhet	-5,3%	-7,2%	-4,8%	-6,6%
Pelletspris 2012 för lönsamhet, obs ej fast pelletspris	1687	1644	1695	1653
Procentuell förändring av pelletspris som krävs för lönsamhet				
Råvaror 20 % dyrare	-10,6%	-10,8%	-10,5%	-10,7%
Råvaror 20 % billigare	13,4%	13,8%	13,3%	13,7%
Naturgas 20 % dyrare	-2,0%	-1,6%	-2,0%	-1,7%
Naturgas 20 % billigare	2,1%	1,6%	2,2%	1,7%
Elpris 20 % dyrare	-0,6%	-0,7%	-0,6%	-0,7%
Elpris 20 % billigare	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Investeringskostnad, 20 % högre	-2,8%	-2,7%	-3,0%	-2,8%
Investeringskostnad, 20 % lägre	3,1%	2,9%	3,2%	2,9%

## Appendix 5

Analys av torkkondenst från Exergy Consultings tork i Köge, Danmark [16]

TOC	400 mg/l
pH	3,3
COD	1100 mg/l
Susp. ämnen	18 mg/l
Destillerbara fenoler, låga	0,71 mg/l
Microtox, EC10, 15 min	0,6 %
Microtox, EC20, 15 min	1 %
Microtox. EC50, 15 min	3 %



---

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.et.slu.se](http://www.et.slu.se)

---

SLU  
Department of Energy and Technology  
Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000

---